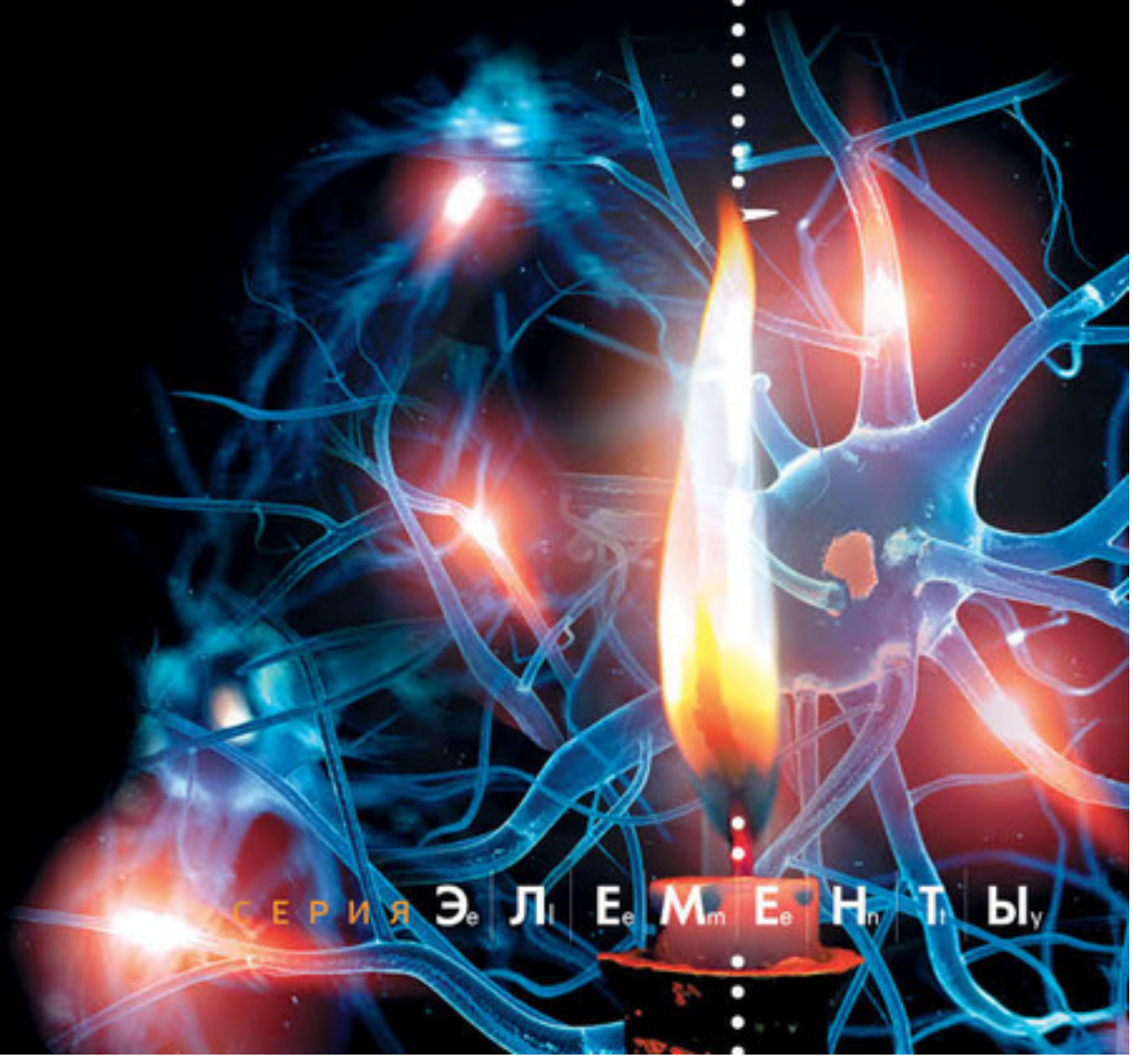
Эрик Кандель

В ПОИСКАХ ПАМЯТИ

Возникновение новой науки
о человеческой психике



Серия Элементы

Элементы

Эрик Кандель

В поисках памяти: Возникновение новой науки о человеческой психике

«Corpus (АСТ)»
2006

УДК 159.9
ББК 88.3

Кандель Э. Р.

В поисках памяти: Возникновение новой науки о человеческой психике / Э. Р. Кандель — «Corpus (АСТ)», 2006 — (Элементы)

ISBN 978-5-17-104268-4

Автор разъясняет революционные достижения современной биологии и проливает свет на то, как бихевиоризм, когнитивная психология и молекулярная биология породили новую науку. Книга начинается с воспоминаний о детстве в оккупированной нацистами Вене и описывает научную карьеру Канделя: от его раннего увлечения историей и психоанализом до новаторских работ в области изучения клеточных и молекулярных механизмов памяти, за которые он удостоился Нобелевской премии.

УДК 159.9
ББК 88.3

ISBN 978-5-17-104268-4

© Кандель Э. Р., 2006
© Corpus (АСТ), 2006

Содержание

Предисловие 6
Часть первая 9
1. Личные воспоминания и биология памяти 9
2. Детство в Вене 15
3. Американское образование 28
Часть вторая 41
4. По одной клетке 41
5. О чем говорит нервная клетка 59
6. Разговор нервных клеток 71
7. Простые и сложные нейронные системы 80
8. Разные воспоминания – разные участки мозга 89
Конец ознакомительного фрагмента. 98

Эрик Кандель
В поисках памяти: Возникновение новой науки о человеческой психике

Книга издана при поддержке “Книжных проектов Дмитрия Зимина”

Художественное оформление и макет Андрея Бондаренко

© Eric R. Kandel, 2006.
All rights reserved
© П. Петров, перевод на русский язык, 2011
© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2017
© ООО “Издательство Аст”, 2017
Издательство CORPUS ®

Книжные проекты
Дмитрия Зимина

Эта книга издана в рамках программы “Книжные проекты Дмитрия Зимина” и продолжает серию

“Библиотека фонда «Династия»”.

Дмитрий Борисович Зимин – основатель компании “Вымпелком” (Beeline), фонда некоммерческих программ “Династия” и фонда “Московское время”.

Программа “Книжные проекты Дмитрия Зимина” объединяет три проекта, хорошо знакомых читательской аудитории: издание научно-популярных книг “Библиотека фонда «Династия»”, издательское направление фонда “Московское время” и премию в области русскоязычной научно-популярной литературы “Просветитель”.

Предисловие

Pour Denise

Разобраться в биологической природе человеческой психики – ключевая задача науки xxi века. Мы стремимся понять биологическую природу восприятия, обучения, памяти, мышления, сознания и пределов свободы воли. Еще несколько десятилетий назад казалось немыслимым, что биологи получат возможность изучать эти явления. До середины xx века идею того, что самые глубокие тайны человеческой психики, сложнейшей системы явлений во вселенной, могут быть доступны биологическому анализу, возможно, даже на молекулярном уровне, нельзя было принимать всерьез.

Впечатляющие достижения в области биологии последних пятидесяти лет сделали это возможным. Совершенное Джеймсом Уотсоном и Фрэнсисом Криком в 1953 году открытие структуры ДНК произвело революцию в биологии, предоставив ей рациональную основу для изучения того, как информация, записанная в генах, управляет работой клетки. Это открытие позволило понять фундаментальные принципы регуляции работы генов – как гены обеспечивают синтез белков, определяющих функционирование клеток, как гены и белки включаются и выключаются в ходе развития организма, определяя его строение. Когда эти выдающиеся достижения остались позади, биология наряду с физикой и химией заняла центральное место в созвездии естественных наук.

Вооруженная новыми знаниями и уверенностью, биология устремилась к своей высочайшей цели – разобраться в биологической природе человеческой психики. Работа в этом направлении, долгое время считавшемся ненаучным, уже идет полным ходом. Более того, когда историки науки будут рассматривать последние два десятилетия xx века, они, скорее всего, обратят внимание на неожиданный факт: самые ценные открытия того времени, касающиеся человеческой психики, были получены не в рамках дисциплин, традиционно работавших в этой области, таких как философия, психология или психоанализ. Они стали возможны благодаря слиянию этих дисциплин с биологией мозга – новой синтетической дисциплиной, которая расцвела благодаря впечатляющим достижениям молекулярной биологии. В результате возникла новая наука о психике, использующая возможности молекулярной биологии для исследования великих тайн жизни.

В основе новой науки лежат пять принципов. Первый состоит в том, что наша психика неотделима от мозга. Мозг – это сложный, обладающий огромными вычислительными способностями биологический орган, который формирует ощущения, регулирует мысли и чувства и управляет действиями. Мозг отвечает не только за сравнительно простые формы двигательного поведения, такие как бег или прием пищи, но и за те сложные действия, в которых мы видим квинтэссенцию человеческой природы: мышление, речь или создание произведений искусства. В этом аспекте человеческая психика предстает системой операций, выполняемых мозгом, почти так же, как ходьба – это система операций, выполняемых ногами, только в случае мозга система значительно сложнее.

Второй принцип заключается в том, что каждая психическая функция мозга, от простейших рефлексов до наиболее творческих форм деятельности в области языка, музыки и изобразительного искусства, выполняется специализированными нейронными цепями, проходящими в различных участках мозга. Поэтому биологию человеческой психики лучше обозначать термином *biology of mind,* указывающим на систему психических операций, выполняемых этими цепями, чем термином *biology of the mind,* подразумевающим некоторое

местоположение нашей психики и предполагающим, что у нас в мозге есть определенное место, в котором выполняются все психические операции[1].

Третий принцип: все эти цепи состоят из одних и тех же элементарных сигнальных единиц – нервных клеток (нейронов). Четвертый: в нейронных цепях для генерации сигналов внутри нервных клеток и передачи их между клетками используются молекулы особых веществ. И последний принцип: эти специфические сигнальные молекулы эволюционно консервативны, то есть остаются неизменными на протяжении миллионов лет эволюции. Некоторые из них присутствовали в клетках наших древних предков и могут быть обнаружены сегодня у самых далеких и эволюционно примитивных родственников – одноклеточных организмов, таких как бактерии и дрожжи, и простых многоклеточных организмов типа червей, мух и улиток. Чтобы успешно маневрировать в своей среде обитания, эти существа используют молекулы тех же веществ, что и мы, чтобы управлять своей повседневной жизнью и приспосабливаться к окружающей среде.

Таким образом, новая наука о психике не только открывает нам путь к познанию самих себя (как мы воспринимаем окружающее, учимся, запоминаем, чувствуем и действуем), но и дает возможность по#новому взглянуть на себя в контексте биологической эволюции. Она позволяет понять, что человеческая психика развилась на основе веществ, которыми пользовались еще наши примитивные предки, и что необычайная консервативность молекулярных механизмов, регулирующих разнообразные жизненные процессы, свойственна также и нашей психике.

В связи с тем, как много биология психики может сделать для нашего личного и общественного благосостояния, научное сообщество сегодня единодушно: эта дисциплина станет для xxi века тем же, чем для xx века стала биология гена.

Помимо того что новая наука о психике обращается к ключевым вопросам, занимавшим умы западных мыслителей с тех пор, как более двух тысяч лет назад Сократ и Платон впервые взялись рассуждать о природе психических процессов, она также открывает возможность на практике разобраться в важных для нашей повседневной жизни вопросах, касающихся психики. Наука перестала быть прерогативой ученых. Теперь она – неотъемлемая часть современной жизни и культуры. Средства массовой информации почти каждый день передают сведения специального характера, едва ли доступные для понимания широкой общественности. Люди читают о потере памяти, вызываемой болезнью Альцгеймера, и о так называемой возрастной потере памяти и пытаются понять, часто безуспешно, разницу между этими двумя расстройствами, из которых первое неумолимо прогрессирует и приводит к смерти, а второе относится к сравнительно легким недугам. Они слышат о ноотропных препаратах, но плохо представляют себе, чего от них ожидать. Им говорят, что гены влияют на поведение и что нарушения в этих генах вызывают психические заболевания и неврологические расстройства, но не говорят, как это происходит. Наконец, люди читают, что различия способностей, связанные с полом, влияют на образование и карьеру мужчин и женщин. Означает ли это, что женский мозг отличается от мужского?

Большинству из нас в личной и общественной жизни придется принимать решения, имеющие отношение к биологическому пониманию психики. Некоторые из них потребуются в попытках разобраться в изменчивости нормального человеческого поведения, другие будут касаться более серьезных психических и неврологических расстройств. Поэтому совершенно необходимо, чтобы у каждого появился доступ к новейшим научным сведе-

[1] Английское слово *mind* не имеет в русском языке однозначного соответствия. В этой книге оно используется в основном в самом широком значении, приблизительно соответствующем русскому слову “психика”, но может означать также, например, “разум”, “мышление”, “мнение”. Термин *biology of mind* можно дословно перевести как “биология психики”. С определенным артиклем (*biology of the mind*) этот термин приобретает несколько иные смысловые оттенки, разъясняемые здесь автором. (*Здесь и далее – прим. перев.*)

ниям, представленным в ясной, доступной форме. Я разделяю убеждение, распространенное сегодня в научной среде, что мы обязаны обеспечить общественность такими сведениями.

Еще на раннем этапе своей работы в нейробиологии я осознал, что люди, не имеющие естественнонаучного образования, так же искренне стремятся что#то узнать про новую науку о человеческой психике, как мы, ученые, стремимся рассказать о ней. Это вдохновило меня и одного из моих коллег по Колумбийскому университету, Джеймса Шварца, на создание учебника "Принципы нейробиологии" (*Principles of Neural Science*) – вводного курса для колледжей и медицинских школ[2], над пятым изданием которого мы сейчас начинаем работать. После выхода книги меня стали приглашать выступать с лекциями о нейробиологии перед широкой аудиторией. Этот опыт убедил меня в том, что люди, не являющиеся учеными, готовы прикладывать усилия, чтобы разбираться в ключевых вопросах науки о мозге, если ученые готовы стараться разъяснять им эти вопросы. Поэтому я и написал книгу, которую вы держите в руках, как введение в новую науку о человеческой психике для широкого круга читателей, не имеющих специального образования. Моя задача состоит в том, чтобы разъяснить простыми словами, как из теорий и наблюдений ученых, занимавшихся той экспериментальной наукой, какой сегодня является биология, возникла новая наука о психике.

Еще один стимул для написания этой книги у меня появился осенью 2000 года, когда мой вклад в изучение работы памяти был отмечен Нобелевской премией по физиологии и медицине. Всем нобелевским лауреатам предлагают написать автобиографический очерк. Когда я писал свой, мне стало предельно ясно, что мой интерес к природе памяти восходит к событиям моего детства в Вене. С удивлением и благодарностью я осознал, что мои исследования позволили мне стать участником исторического этапа в развитии науки и войти в состав замечательного международного сообщества ученых-биологов. В ходе работы я познакомился с несколькими выдающимися учеными, бывшими в первых рядах революции, свершившейся недавно в биологии и науке о мозге, и взаимодействие с ними оказало огромное влияние на мои собственные исследования.

Поэтому в книге переплетены две сюжетные линии. Первая – это история замечательных научных достижений, сделанных в области исследований психики за последние пятьдесят лет. Вторая – описание моей жизни и научной карьеры за те же полвека. Я пытаюсь проследить, как события моего детства в Вене привели меня к изучению проблем памяти, хотя мой интерес сначала был сосредоточен на истории и психоанализе, затем на биологии мозга и, наконец, на клеточных и молекулярных механизмах памяти. Таким образом, эта книга – рассказ о моих собственных поисках природы памяти в их связи с одним из величайших дел современной науки – попыткой разобраться в клеточной и молекулярной природе нашей психики.

[2] В США медицинская школа (*medical school*) – высшее учебное заведение (или подразделение высшего учебного заведения), выпускник которого получает степень доктора медицины (*doctor of medicine*). В медицинские школы принимают выпускников колледжей и университетов, имеющих степень бакалавра. Обучение в них обычно занимает четыре года.

Часть первая

Нами управляет не прошлое как таковое, кроме, быть может, прошлого в биологическом смысле. Нами управляют образы прошлого. Эти образы часто так же высокоструктурированы и избирательны, как мифы. Образы и символические конструкты прошлого отпечатаны, почти наподобие генетической информации, в характере наших чувств. Каждая новая историческая эпоха отражается в картине и активной мифологии своего прошлого.
Джордж Стайнер "В замке Синей Бороды" (1971)

1. Личные воспоминания и биология памяти

Память всегда вызывала у меня восторженный интерес. Только подумайте: вы можете когда захотите вспомнить первый день в школе, первое свидание, первую любовь. При этом вы не только вспоминаете событие как таковое, но и чувствуете атмосферу, в которой оно происходило: картины, звуки и запахи, окружающих людей, время суток, разговоры, эмоции. Воспоминания о прошлом – что#то вроде мысленного путешествия во времени. Они освобождают нас от ограничений, накладываемых временем и пространством, и позволяют свободно двигаться по совершенно другим измерениям.

Мысленное путешествие во времени позволяет мне покинуть тот момент, когда я пишу это предложение, сидя у себя дома, в кабинете с видом на реку Гудзон, и перенестись на шестьдесят семь лет назад, на восток, через Атлантику, в Вену, где я родился и где у моих родителей был небольшой магазин игрушек.

Сегодня 7 ноября 1938 года – день, когда мне исполнилось девять лет. Мои родители только что вручили мне подарок, который я у них давно выпрашивал: игрушечную машинку на батарейках и с дистанционным управлением. Это чудесная блестящая машинка голубого цвета. Длинный провод соединяет ее мотор с рулем, с помощью которого я могу управлять ее движением, ее судьбой. Следующие два дня я вожу машинку по нашей маленькой квартире – через гостиную, к обеденному столу, за который родители, старший брат и я каждый вечер садимся ужинать, между его ножек, в спальню и обратно, с восторгом и все увереннее управляя ею.

Но это наслаждение продолжается недолго. Через два дня, ранним вечером, мы вздрагиваем от громкого стука в дверь. Я и сегодня помню этот стук. Отец еще не вернулся с работы в магазине. Мама открывает дверь. Входят двое мужчин. Сообщают, что они из полиции нацистов, и приказывают нам собрать какие#нибудь вещи и покинуть квартиру. Они дают адрес и говорят, что там нам предоставят жилье вплоть до дальнейших указаний. Мы с мамой берем только смену одежды и туалетные принадлежности, но моему брату Людвигу хватает ума захватить с собой две самые ценные для него вещи – его коллекции марок и монет.

Собрав эти немногие вещи, мы несколько кварталов идем к дому более состоятельной пары пожилых евреев, которых мы никогда раньше не видели. Их большая, хорошо меблированная квартира кажется мне роскошной, а хозяин дома производит сильное впечатление. Ложась спать, он надевает искусно расшитую ночную рубашку, а не пижаму, как мой отец, и спит в колпаке, защищающем прическу, и в специальной повязке на верхней губе, чтобы поддерживать форму усов. Хотя мы и вторглись в их частную жизнь, наши невольные хозяева заботливы и учтивы. При всем своем достатке они тоже напуганы и встревожены проис-

ходящим. Моей маме неловко навязываться им, она понимает, что их, должно быть, так же смущает внезапное появление троих незнакомцев, как нас смущает то, что мы здесь оказались. Я сконфужен и испуган все те дни, что мы живем в заботливо обустроенной квартире наших новых соседей. Но главный источник тревоги для нас связан с моим отцом: он внезапно исчез, и мы понятия не имеем, где он.

Через несколько дней нам наконец разрешают вернуться домой. Но квартира, в которую мы возвращаемся, не похожа на ту, что мы покинули. Ее разграбили и забрали все ценное: мамину шубу, драгоценности, столовое серебро, кружевные скатерти, что#то из костюмов отца и все, что мне дарили на день рождения, включая чудесную блестящую голубую машинку с дистанционным управлением. Зато, к нашей радости, 19 ноября, через несколько дней после того, как мы вернулись в свою квартиру, возвращается отец. Он рассказывает, что его задержали вместе с сотнями других мужчин-евреев и посадили в армейские казармы. Ему удалось доказать, что он был солдатом австро-венгерской армии, сражавшейся на стороне Германии в Первой мировой войне, и его отпустили.

Воспоминания тех дней – как я все с большей уверенностью вожу по квартире машинку, как слышу громкий стук в дверь, как нацистские полицейские приказывают нам переселиться в чужой дом, как мы находим свою квартиру разграбленной, как исчезает и как возвращается отец – самые сильные воспоминания моего детства. Впоследствии я понял, что эти события совпали с Хрустальной ночью, когда были разбиты не только окна наших синагог и магазина моих родителей в Вене, но и жизни бесчисленных евреев по всему немецкоговорящему миру.

Теперь я осознаю, что нашей семье повезло. Наше горе было ничтожно по сравнению с горем миллионов евреев, для которых не существовало иного выбора, кроме как остаться в нацистской Европе. По прошествии унизительного и страшного года мы с братом Людвигом, которому тогда было четырнадцать, смогли уехать из Вены в Соединенные Штаты, в Нью-Йорк, к бабушке и дедушке. Через шесть месяцев к нам присоединились и родители. Хотя наша семья всего год жила под властью нацистов, бедность, унижение и страх, испытанные мной в тот последний год в Вене, сделали его определяющим периодом моей жизни.

Трудно проследить, с какими именно событиями детства и юности связаны интересы и поступки взрослого человека. Но я невольно связываю свой последующий интерес к психике – к поведению людей, непредсказуемости их побуждений и формированию человеческой памяти – с моим последним годом в Вене. Одним из лейтмотивов для переживших Холокост евреев было “Никогда не забывать” – призыв к будущим поколениям быть бдительными к проявлениям антисемитизма, расизма и ненависти – явлений психики, которые сделали зверства нацистов возможными. Моя научная работа состоит в исследовании биологических основ этого девиза – процессов, проходящих у нас в мозге, которые позволяют нам помнить.

Воспоминания того года в Вене впервые нашли выражение, когда я был студентом колледжа в Соединенных Штатах, то есть еще до того, как заинтересовался естественными науками. Я проявлял ненасытный интерес к новейшей истории Австрии и Германии и собирался стать профессиональным историком. Я пытался разобраться в политическом и культурном контексте, в котором произошли те злосчастные события, хотел понять, как люди, любившие искусство и музыку, могли тут же совершать самые варварские и жестокие поступки. Я написал несколько семестровых работ по истории Австрии и Германии, в том числе исследовательскую курсовую о реакции немецких писателей на наступление нацизма.

Затем, в последний год моего обучения в колледже (1951–1952), у меня развился интерес к психоанализу – дисциплине, специализирующейся на копании в пластах личных воспоминаний и опыта, чтобы разобраться в зачастую иррациональных корнях побуждений,

мыслей и поведения. В начале пятидесятых большинство практикующих психоаналитиков также были врачами. Поэтому я решил пойти в медицинскую школу. Там мне открылось, что в биологии совершается революция и что, похоже, скоро будут разгаданы фундаментальные тайны природы живых организмов.

Меньше чем через год после того, как в 1952#м я поступил в медицинскую школу, была открыта структура ДНК. Это прокладывало дорогу к научному изучению генетических и молекулярных клеточных механизмов. Со временем исследователям предстояло добраться и до клеток, из которых состоит человеческий мозг – самый сложный орган во вселенной. Именно тогда я впервые задумался о биологическом исследовании тайн обучения и памяти. Каким образом прошлое в Вене так прочно отпечаталось в нервных клетках моего мозга? Как сложное трехмерное пространство нашей квартиры, по которой я водил свою игрушечную машинку, оказалось прошито во внутренней модели окружающего трехмерного мира моего мозга? Каким образом испытанный ужас прожег в молекулярной и клеточной тканях моего мозга образ громкого стука в дверь нашей квартиры, причем так надежно, что я могу восстановить его в памяти в отчетливых визуальных и эмоциональных подробностях, хотя прошло уже более полувека? Эти вопросы, на которые предыдущее поколение еще не могло найти ответа, теперь стали поддаваться исследованию методами новой науки о психике.

Революция, поразившая мое воображение, когда я был студентом-медиком, превращала биологию из в значительной степени описательной области в последовательную естественную науку, стоящую на прочных генетических и биохимических основаниях. До прихода молекулярной биологии в этой науке царили три разнородные идеи: дарвиновская идея эволюции, согласно которой люди и другие животные постепенно развились из более примитивных предков, совсем на них непохожих, представление о генетических основах наследования особенностей строения тела и психики и теория, согласно которой клетка есть элементарная единица всего живого. Молекулярная биология объединила эти три идеи, сосредоточившись на работе генов и белков в отдельных клетках. Она признала ген единицей наследственности и движущей силой эволюционных изменений и признала продукты работы генов – белки – базовыми элементами функционирования клеток. Исследуя фундаментальные основы жизненных процессов, молекулярная биология открыла, что общего имеют между собой все формы живого. Еще в большей степени, чем квантовая механика или космология – две другие области науки, в которых в xx веке произошли великие революции, – молекулярная биология привлекает внимание своей непосредственной связью с нашей повседневной жизнью. Она исследует самые основы нашей природы – того, что мы собой представляем.

За пятьдесят лет моей научной карьеры постепенно возникла новая биологическая наука о психике. Первые шаги в этом направлении были сделаны в шестидесятые, когда философия сознания, бихевиористская психология (наука о простых формах поведения у подопытных животных) и когнитивная психология (наука о сложных явлениях человеческой психики) слились воедино, положив начало современной когнитивной психологии. Новая дисциплина стремилась найти общее в сложных психических процессах, свойственных животным – от мышей и обезьян до людей. Впоследствии такой подход распространили и на проще устроенных беспозвоночных животных – улиток, пчел и мух. Современная когнитивная психология имеет и строгую экспериментальную программу, и широкую теоретическую основу. Она охватила широкий круг поведенческих форм, от простых рефлексов беспозвоночных до высших психических процессов человека, таких как внимание, сознание и свободная воля, которыми традиционно занимался психоанализ.

В семидесятые годы когнитивная психология (наука о психике) слилась с нейробиологией (наукой о мозге). В результате возникла когнитивная нейробиология – дисциплина, которая внедрила биологические методы исследования психических процессов в современ-

ную когнитивную психологию. В восьмидесятые нейробиология получила колоссальный толчок благодаря томографии мозга – технологии, позволившей нейробиологам воплотить в жизнь свою давнюю мечту заглянуть внутрь человеческого мозга и увидеть, как активируются различные его участки, когда человек вовлечен в высшие мыслительные процессы: воспринимает зрительные образы, представляет себе тот или иной путь в пространстве или совершает произвольные движения. Томография мозга работает за счет измерения показателей нервной активности: позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) измеряет потребление мозгом энергии, а функциональная магнитно-резонансная томография (ФМРТ) – использование мозгом кислорода. В начале восьмидесятых годов когнитивная нейробиология вобрала в себя также молекулярную биологию, в результате чего возникла новая наука о психике – молекулярная биология когнитивных функций, которая позволила на молекулярном уровне исследовать такие психические явления, как мышление, чувства, обучение и память.

Любая революция имеет свои истоки в прошлом, и революция, апогеем которой стало возникновение новой науки о психике, не исключение. Хотя ключевая роль биологии в изучении психических процессов и была новшеством, ее способность влиять на наши представления о самих себе проявлялась и ранее. Еще в середине xix века Чарльз Дарвин доказывал, что мы представляем собой не уникальное творение, а результат постепенной эволюции наших предков, низших животных. Более того, он утверждал, что можно проследить происхождение всего живого от общих предков вплоть до самого возникновения жизни. Он высказал и еще более смелую идею, что движущей силой эволюции является не сознательный, разумный или божественный замысел, а “слепой” естественный отбор – абсолютно механический процесс сортировки методом проб и ошибок случайных продуктов наследственной изменчивости.

Идеи Дарвина открыто бросали вызов учению большинства религий. Поскольку изначальной целью биологии было объяснение божественного замысла, согласно которому устроена живая природа, дарвиновские идеи разрывали историческую связь религии и биологии. В итоге современная биология предлагает нам принять, что живые существа со всей их красотой и бесконечным разнообразием представляют собой лишь продукты постоянно обновляющихся комбинаций нуклеотидов – элементов, из которых состоит ДНК и ее генетический код. Эти комбинации были подвержены отбору на протяжении миллионов лет борьбы живых организмов за выживание и успешное размножение.

Новая биологическая наука о психике может вызвать еще большее возмущение, поскольку предполагает, что не только тело, но и психика и те особые вещества, работа которых лежит в основе высших психических процессов – осознания себя и других, прошлого и будущего, – возникли в ходе эволюции наших животных предков. Более того, новая наука исходит из того, что само сознание есть биологический процесс, который нам в конечном итоге предстоит объяснить, исследуя пути молекулярных сигналов при взаимодействии используемых популяциями нервных клеток.

Большинство из нас охотно готово принять результаты экспериментальных научных исследований в их приложении к другим частям тела: например, нас не смущает знание того, что сердце не является вместилищем чувств, что это мышечный орган, который качает кровь по кровеносной системе. Однако сама мысль о том, что человеческое сознание и духовное начало происходят из работы материального органа, мозга, для многих оказывается новой и пугающей. Им сложно поверить, что мозг представляет собой вычислительный центр, обрабатывающий информацию, и что своими удивительными возможностями он обязан не мистической тайне, а сложности – огромному числу и разнообразию нервных клеток и взаимодействий между ними.

Для биологов, изучающих мозг, возможности и красота человеческого сознания нисколько не умаляются применением экспериментальных методов к поведению человека. Не боятся биологи и того, что редукционистский анализ, позволяющий выделять составные части мозга и формы его активности, будет унижать достоинство человеческого сознания. Напротив, большинство ученых считает, что биологические исследования, скорее всего, заставят нас с еще большим уважением относиться к сложности человеческой психики и ее возможностям.

Более того, объединив бихевиористскую и когнитивную психологию, нейробиологию и молекулярную биологию, новая наука о психике может обратиться к философским вопросам, над которыми великие умы бились не одно тысячелетие. Как мы приобретаем знания об окружающем мире? В какой степени психика наследуется? Накладывают ли на нас врожденные психические функции строго определенный способ восприятия окружающего мира? Какие материальные изменения происходят в мозге в процессе обучения и запоминания? Как событие, которое длится минуты, преобразуется в воспоминание, которое сохраняется на всю жизнь? Подобные вопросы перестали быть прерогативой умозрительной метафизики и стали областями бурного экспериментального исследования.

Особенно заметные достижения новой науки о человеческой психике относятся к изучению молекулярных механизмов работы памяти. Память, то есть способность получать и хранить информацию, простую, как бытовые детали повседневной жизни, и сложную, как абстрактные знания по географии или алгебре, составляет одну из самых замечательных сторон человеческого поведения. Способность памяти одновременно разбираться с несколькими разными фактами позволяет решать задачи, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, и играет ключевую роль в разрешении любых других проблем. В более широком смысле память обеспечивает целостность нашей жизни. Она дает нам последовательную картину прошлого, в контексте которой мы воспринимаем события настоящего. Даже если эта картина не рациональна и не точна, ей свойственно постоянство. Без связывающей силы памяти наш опыт раскололся бы на столько фрагментов, сколько мгновений было в нашей жизни. Без возможности мысленно путешествовать во времени, которую дает память, мы были бы лишены осознания своей личной истории, не могли бы вспомнить радости, которые служат светящимися вехами нашей жизни. Мы то, что мы есть, во многом благодаря памяти и способности к обучению.

Механизмы нашей памяти лучше всего служат нам тем, что позволяют легко вспоминать радостные события жизни и затушевывают эмоциональные следы несчастий и разочарований. Но бывает и так, что ужасные воспоминания преследуют человека и отравляют ему жизнь, как это происходит при посттравматическом стрессовом расстройстве – недуге, от которого страдают некоторые люди, пережившие Холокост, войны, насилие или стихийные бедствия.

Память обеспечивает не только целостность жизни нас как личностей, но также передачу культуры, преемственность развития обществ на протяжении многих веков. Хотя размеры и строение человеческого мозга не изменились с тех пор, как в Африке порядка 150 000 лет назад впервые появился вид *Homo sapiens,* способность к обучению отдельных людей и их историческая память за века выросли благодаря взаимному обучению, то есть передаче культуры. Культурная эволюция – небиологический способ адаптации – идет параллельно с биологической эволюцией, обеспечивая передачу знаний о прошлом и адаптивных форм поведения из поколения в поколение. Все человеческие достижения с древнейших времен до наших дней представляют собой результат взаимной передачи воспоминаний, накопленных за века, будь то письменные источники или бережно хранимая устная традиция.

Подобно тому как взаимная передача воспоминаний обогащает каждую жизнь, потеря памяти разрушает наше ощущение своего “я”, разрывает связь с прошлым и с другими людьми и может поразить как развивающегося ребенка, так и зрелого взрослого человека. Синдром Дауна, болезнь Альцгеймера и возрастная потеря памяти – широко известные примеры многочисленных заболеваний, которые сказываются на памяти. Теперь мы знаем, что нарушения памяти играют роль и в психических расстройствах: шизофрения, депрессия и неврозы несут дополнительное бремя нарушений памяти.

Новая наука о человеческой психике дает нам надежду на то, что, когда мы лучше разберемся в биологии памяти, мы найдем и лучшие средства для лечения как потери памяти, так и навязчивых тяжелых воспоминаний. Более того, новая наука, судя по всему, получит практическое применение и во многих других областях медицины. Но ее миссия не ограничивается поиском средств от тяжелых болезней. Новая наука о психике стремится проникнуть в тайны сознания, в том числе в его самую глубокую тайну – как мозг каждого человека создает его осознание собственного неповторимого “я” и ощущение свободной воли.

2. Детство в Вене

В то время, когда я появился на свет, Вена была в немецкоговорящем мире важнейшим культурным центром, с которым мог соперничать только Берлин, столица Веймарской республики. Вена славилась великими достижениями в музыке и искусстве и была родиной научной медицины, психоанализа и современной философии. Кроме того, замечательные образовательные традиции заложили фундамент для экспериментов в области литературы, науки, музыки, архитектуры, философии и искусства, и к этим венским экспериментам восходят многие идеи современности. Вена была родным домом для пестрого набора мыслителей, в том числе Зигмунда Фрейда, основателя психоанализа, выдающихся писателей, таких как Роберт Музиль и Элиас Канетти, и создателей современной философии, в том числе Людвига Витгенштейна и Карла Поппера.

Венская культура была явлением необычайной силы, и евреи активно в ней участвовали. Моя жизнь во многом определилась крушением венской культуры в 1938 году – как событиями, которым я сам был свидетелем, так и тем, что я узнал о Вене и ее истории впоследствии. Эти знания углубили мое преклонение перед величием Вены и заострили боль утраты, вызванную крахом этого величия. Боль усугубляло то, что Вена была моим родным городом, моим домом.

2–1. Мои родители, Шарлотта и Герман Кандель, в 1923 году, в год своей свадьбы. (*Фото из архива Эрика Канделя.*)

Мои родители встретились в Вене и поженились в 1923 году (рис. 2–1), вскоре после чего отец открыл свой магазин игрушек в 18#м районе на Кучкергассе (рис. 2–2), оживленной улице, на которой находился также продуктовый рынок Кучкер Маркт. Мой брат Людвиг родился в 1924 году, а я – пять лет спустя (рис. 2–3). Мы жили в маленькой квартире на Северингассе в 9#м районе, в квартале, населенном людьми среднего достатка, возле медицинского факультета и недалеко от дома номер 19 по Берггассе, где жил Зигмунд Фрейд. Мои родители работали в магазине, и у нас сменилось несколько домработниц.

2–2. Магазин моих родителей на Кучкергассе, где продавались игрушки, чемоданы и сумки. Моя мама и я, а может быть, мой брат. (*Фото из архива Эрика Канделя.*)

2–3. Мы с братом в 1933 году. Мне здесь три года, а Людвигу – восемь. (*Фото из архива Эрика Канделя.*)

Школа, в которую я ходил, располагалась на улице с подходящим названием Шульгассе[3], на полпути между нашим домом и магазином моих родителей. Как и в большинстве венских начальных школ, или *Volksschulen*, в этой школе была традиционная, весьма обширная учебная программа. Я пошел по стопам исключительно одаренного брата, у которого были те же учителя, что и у меня. Все время, пока мы жили в Вене, я чувствовал, что мои способности не идут ни в какое сравнение с блистательным интеллектом брата. К тому времени, когда я начал читать и писать, он взялся за изучение греческого, освоил игру на фортепиано и научился собирать радиоприемники.

Людвиг как раз закончил конструировать свой первый коротковолновый приемник за несколько дней до триумфального вступления Гитлера в Вену в марте 1938 года. Вечером 13 марта мы с братом слушали через наушники, как диктор рассказывал о входе германских войск в Австрию, начавшемся утром 12 марта. Гитлер проследовал за своими войсками в тот же день и пересек границу в районе своего родного города Браунау-на-Инне, откуда направился дальше, в Линц. Из 120 000 жителей Линца почти 100 000 вышли встречать его, скандируя: “Хайль Гитлер!” На заднем плане из приемника раздавалась “Песня Хорста Весселя” – гипнотизирующий марш нацистов, который даже мне показался завораживаю-

[3] *Schulgasse* – Школьная улица (*австр. нем.*).

щим. Днем 14 марта Гитлер со своей свитой достиг Вены, где на Хельденплац, большой центральной площади, двухсоттысячная толпа, исполненная дикого восторга, приветствовала его как героя, объединившего немецкий народ (рис. 2–4). Нас с братом эта всеобщая поддержка человека, раздавившего еврейство Германии, привела в ужас.

2–4. Прибытие Гитлера в Вену в марте 1938 года. Его приветствуют восторженные толпы, в том числе группы девочек, размахивающих нацистскими флагами со свастикой (вверху). Гитлер выступает перед венской публикой на Хельденплац (внизу). Послушать его речь пришли 200 000 человек – это был самый многолюдный митинг в истории Вены. (*Фотографии любезно предоставлены Архивом документов австрийского сопротивления и архивами Гуверовского института.*)

Гитлер ожидал, что австрийцы будут выступать против германской аннексии и требовать, чтобы Австрия осталась сравнительно независимым государством под протекторатом Германии. Но оказанный ему необычайный прием, даже со стороны людей, которые за сорок восемь часов до этого были его врагами, убедил его, что Австрия с готовностью и даже охотно примет эту аннексию. Казалось, что все, от скромных лавочников до самых высокопоставленных ученых мужей, теперь открыто встали на сторону Гитлера. Влиятельный кардинал Теодор Иннитцер, архиепископ Вены, некогда добрый защитник евреев, приказал всем церквям города поднять нацистские флаги и звонить в колокола в честь прибытия Гитлера. Кардинал лично заверил его в преданности как собственной, так и всех австрийских католиков, то есть большинства населения страны. Он пообещал, что австрийские католики станут “самыми верными сынами великого Рейха, в объятия которого они вернулись в этот

исторический день". Просил архиепископ только одного – признать привилегии церкви и гарантировать сохранение ее роли в обучении подрастающего поколения.

В ту ночь начался кромешный ад, продолжавшийся не один день. Вдохновляемые австрийскими нацистами толпы венцев – и взрослых, и молодежи – охватило националистическое буйство, и с криками "Бей жидов! Хайль Гитлер!" они бросились избивать евреев и громить их имущество. Евреев также унижали, заставляя их опускаться на колени и оттирать улицы, чтобы уничтожить все следы политических граффити, призывавших противостоять аннексии (рис. 2–5). Моего отца тогда заставили с помощью зубной щетки отмывать последнее напоминание о независимости Австрии – слово "да", написанное венскими патриотами, призывавшими сограждан голосовать за свободу Австрии и против аннексии. Других евреев заставляли брать ведерки с краской и помечать магазины, которыми владели евреи, звездой Давида или словом *Jude* (еврей). Иностранные комментаторы, давно привыкшие к тактике, применявшейся нацистами в Германии, были поражены жестокостью, проявленной австрийцами. В книге "Вена и венские евреи" Джордж Беркли цитирует германского штурмовика: "венцам удалось за одну ночь сделать то, чего нам в Германии не удалось сделать <…> до сего дня. В Австрии нет нужды организовывать бойкот евреев – народ начал его по собственному почину".

2–5. Евреев заставляют оттирать улицы Вены, счищая политические граффити, призывавшие сохранить свободу Австрии. (*Фотография любезно предоставлена фотоархивом мемориала "Яд ва-Шем".*)

Немецкий драматург Карл Цукмайер, переехавший в Австрию в 1933 году, после прихода Гитлера к власти, писал в своей автобиографии, что Вена в первые дни после аннексии превратилась "в кошмарное полотно Иеронима Босха". Казалось, что "врата ада разверзлись и изрыгнули из себя самых низких, самых отвратительных, самых ужасных демонов. Мне не раз за свою жизнь доводилось своими глазами видеть человеческий ужас и панику. Я принимал участие в дюжине сражений Первой мировой, перенес заградительный огонь и отравляющий газ, ходил из траншей в атаку. Я был свидетелем беспорядков послевоенной эпохи, подавления восстаний, уличных боев, драк в залах собраний. Я был в рядах очевидцев гитлеровского путча 1923 года в Мюнхене. Я видел ранний период правления нацистов в Берлине. Но ничто не могло сравниться с теми днями в Вене. То, что нахлынуло тогда на Вену, не имело никакого отношения к захвату власти в Германии. <…> Это был поток зависти, ревности, озлобления, слепой и безжалостной жажды мести. Все лучшие инстинкты были подавлены, <…> лишь только пробудившиеся от спячки массы вырвались на свободу.

<…> Это был настоящий шабаш толпы. Все, что напоминает о человеческом достоинстве, было похоронено".

На следующий день после того, как Гитлер вошел в Вену, от меня отвернулись все одноклассники, кроме одной девочки, тоже еврейки, – других евреев у нас в классе не было. В парке, где я играл, надо мной насмехались и издевались, меня толкали и били. В конце апреля 1938 года всех еврейских детей выгнали из моей начальной школы и перевели в спецшколу, где учителя были евреями, на Панцергассе, в 19#м районе, довольно далеко от того места, где мы жили. Из Венского университета выгнали почти всех евреев – более 40 % студентов и 50 % преподавательского состава. Эта враждебность к евреям, далеко не худшим примером которой было обращение со мной, достигла своего апогея в ужасе Хрустальной ночи.

Мои отец и мать переехали в Вену еще до Первой мировой войны, город тогда был совсем другим, намного более терпимым. Моя мать, Шарлотта Цимельс, родилась в 1897 году в Коломые, городке в Галиции на реке Прут, в котором было около 43 000 жителей. Этот соседний с Румынией регион Австро-Венгерской империи был тогда частью Польши, а теперь часть Украины[1]. Почти половину населения Коломыи составляли евреи, и ее еврейское сообщество обладало яркой культурой. Моя мать выросла в хорошо образованной семье среднего достатка. Хотя она проучилась в Венском университете всего год, она умела говорить и читать не только по#немецки и по#польски, но и по#английски. Мой отец, Герман Кандель, который сразу привлек внимание моей матери, находившей его красивым, жизнерадостным и полным юмора, родился в 1898 году в бедной семье в городке Олеско, в котором было около 25 000 жителей, неподалеку от Львова (Лемберга) – теперь это тоже часть Украины. Его семья переехала в Вену в 1903 году, когда ему было пять лет. Прямо со школьной скамьи он был призван в австро-венгерскую армию, сражался в Первой мировой войне, был ранен в бою шрапнелью. После войны он начал зарабатывать на жизнь и так никогда и не окончил школу.

Я родился через одиннадцать лет после распада Австро-Венгерской империи, последовавшего за ее поражением в Первой мировой. До войны это была вторая по размеру страна в Европе, которую превосходила по площади лишь Россия. Империя простиралась на северо-восток до территорий, входящих сейчас в состав Украины, восточные провинции включали территорию нынешних Чехии и Словакии, а в состав южных входили Венгрия, Хорватия и Босния. После войны Австрия резко уменьшилась в размерах, потеряв все иноязычные провинции и сохранив лишь немецкоязычное ядро. В связи с этим резко уменьшились ее население (с 54 млн до 7 млн) и политическое значение.

И все же Вена моего детства, население которой составляло почти два миллиона человек, продолжала жить бурной интеллектуальной жизнью. Мои родители и их друзья радовались, когда городская администрация, возглавляемая социал-демократами, провела весьма успешную и получившую широкое одобрение программу реформ социально-экономической сферы и здравоохранения. Вена была процветающим культурным центром. По всему городу звучала музыка Густава Малера и Арнольда Шенберга, а также Моцарта, Бетховена и Гайдна, и все это на фоне смелых экспрессионистских картин Густава Климта, Оскара Кокошки и Эгона Шиле.

Однако при всем этом культурном процветании Вена тридцатых годов была столицей жестокой, авторитарной политической системы. Я тогда был слишком мал, чтобы понимать это. Лишь позже, в пору моей более беззаботной юности в Соединенных Штатах, я понял всю жестокость условий, сформировавших мои первые впечатления о мире.

Хотя евреи жили на территории нынешней Вены более тысячи лет и сыграли важную роль в развитии венской культуры, антисемитизм был привычным явлением. В начале xx века Вена была единственным крупным европейским городом, где антисемитизм состав-

лял основу политической платформы партии власти. Популист и антисемит Карл Люгер, венский бургомистр с 1897 по 1910 год, в своих зажигательных выступлениях уделял особое внимание “богатым евреям” – среднему классу венского еврейства. Этот средний класс сформировался после принятия в 1867 году новой конституции, которая гарантировала равные гражданские права евреям и другим меньшинствам и давала им свободу открыто исповедовать свою религию.

Несмотря на эти положения новой конституции, дискриминация евреев, которые составляли около 10 % всего населения города и почти 20 % населения основной его части (девяти центральных районов), продолжалась повсюду: в гражданской службе, в армии, в дипломатическом корпусе и во многих аспектах общественной жизни. Уставы большинства клубов и спортивных организаций содержали пункт, не допускавший принятие евреев как неарийцев. С 1924 года до ее запрета в 1934 году в Австрии существовала нацистская партия с подчеркнуто антисемитской платформой. В частности, в 1928 году эта партия протестовала против исполнения в Венском оперном театре оперы еврея Эрнста Кшенека (рис. 2–6).

Тем не менее венские евреи, в том числе мои родители, обожали свой город. Историк Беркли, изучавший жизнь евреев в Вене, очень верно подметил: “Самая злая ирония состоит в том, какую горячую привязанность испытывали многие евреи к городу, на протяжении многих лет демонстрировавшему им свою глубоко укорененную ненависть”. Впоследствии я узнал от родителей, почему Вена вызывала у них такие сильные чувства. Начать с того, что она была очень красива: музеи, оперный театр, университет, Рингштрассе (главный венский проспект), парки и дворец Габсбургов – все это не последние произведения архитектуры. Из города нетрудно добраться до расположенного на его окраине знаменитого Венского леса, а также до Пратера – почти волшебного парка аттракционов с огромным колесом обозрения, впоследствии прославленным фильмом “Третий человек”. “После вечера в театре или первомайского праздника, проведенного в Пратере, житель Вены может с чистой совестью считать свой город центром вселенной. Где еще внешний облик так притягательно подслащает реальность?” – пишет историк Уильям Джонстон. Хотя мои родители и не были высокообразованны, они чувствовали свою связь с культурными ценностями Вены, особенно с театром, оперой и с мелодичным венским наречием, на котором я говорю по сей день.

Wiener und Wienerinnen!

Unsere Staatsoper,

die erste Kunst- und Bildungsstätte der Welt, der Stolz aller Wiener,

ist einer frechen jüdisch-negerischen Besudelung zum Opfer gefallen.

„Jonny spielt auf!"

Riesen-

Protest-Kundgebung

Christliche Wiener und Wienerinnen. Künstler, Musiker, Sänger und Artisten erscheint in Massen und protestiert mit uns gegen diese unerhörten Schandzustände in Oesterreich

Ort: Lembachers Saal, Wien, III. Landstraße Hauptstraße.

Zeitpunkt: Freitag, den 13. Jänner 1928, 8 Uhr abends.

Kostenbeitrag: 20 Groschen. / Juden haben keinen Zutritt!

Nationalsozialistische deutsche Arbeiterpartei Großdeutschlands

2–6. Плакат австрийской нацистской партии, напечатанный в 1928 году, за десять лет до вступления Гитлера в Вену, протестующий против исполнения в Венском оперном театре оперы еврея Эрнста Кшенека: “Наш оперный театр, ведущее художественное и образовательное учреждение мира, гордость всех венцев, стал жертвой наглого еврейско-негритянского осквернения. <…> протестуйте вместе с нами против этого неслыханного в Австрии позора”. (*Копия любезно предоставлена Венской библиотекой в ратуше.*)

Мать и отец разделяли ценности большинства венских родителей: они хотели, чтобы их дети чего#то достигли в профессиональной сфере, в идеале – в какой#нибудь интеллектуальной области. Их устремления были типично еврейскими. Со времени разрушения Второго Храма в Иерусалиме в 70 году н. э., когда Йоханан бен Закай переехал в приморский город Явне и основал там первую академию для изучения Торы, евреи были книжным народом. Считалось, что каждый человек независимо от финансового положения или социального класса должен быть грамотным, чтобы читать молитвенник и Тору. К концу xix века еврейские родители, стремившиеся подняться по социальной лестнице, начали заботиться о том, чтобы их дочери и сыновья получили хорошее образование. После этого жизненная задача состояла не просто в том, чтобы добиться материального благополучия, но, скорее, чтобы, используя материальное благополучие, подняться на более высокую культурную ступень. Не было ничего важнее, чем *Bildung* – стремление к образованию и культуре. Даже для бедной еврейской семьи в Вене было важно, чтобы хоть один сын стал успешным музыкантом, юристом, врачом или, еще лучше, университетским преподавателем.

Вена была одним из немногих европейских городов, где стремление еврейского сообщества к культуре полностью совпадало с устремлениями большинства горожан-неевреев. После неоднократных поражений австрийских войск в конфликтах с Пруссией – сначала в войне за австрийское наследство с 1740 по 1748 год, а затем в Австро-прусской войне 1866 года – Габсбурги (правящая династия Австрии) потеряли всякую надежду на военное господство среди немецкоговорящих государств. По мере убывания их политической и военной мощи стремление к территориальному превосходству сменилось у них жаждой культурного превосходства. Снятие ряда ограничений после принятия новой конституции привело к мас-

совой миграции евреев и других меньшинств со всех краев империи в Вену в конце xix века. Вена стала домом для людей, приехавших из Германии, Словении, Хорватии, Боснии, Венгрии, северной Италии, с Балкан и из Турции. С 1860 по 1880 год численность населения Вены увеличилась с 500 000 до 700 000 человек. Горожане среднего класса начали чувствовать себя гражданами мира и с ранних лет приучали своих детей к культуре. Воспитываемые “в музеях, театрах и концертных залах новой Рингштрассе, венцы среднего класса вбирали в себя культуру не как украшение жизни или знак социального статуса, но как воздух, которым они дышали”, писал Карл Шорске, историк венской культуры. Карл Краус, великий сатирик, социальный и литературный критик, сказал про Вену, что “ее улицы вымощены не асфальтом, а культурой”.

Не только культурная, но и чувственная жизнь Вены была бурной. Самые теплые воспоминания моего детства – типично венские: во#первых, это умеренное, но всегда ощущавшееся буржуазное довольство, связанное с тем, что я рос в дружной, сплоченной семье, регулярно совместно проводившей традиционные выходные, а во#вторых, мгновение эротического блаженства, связанное с нашей соблазнительной домработницей Митци.

Этот эротический опыт был совсем как в одном из рассказов Артура Шницлера, в котором юношу, представителя венского среднего класса, знакомит с сексуальностью *ein ssses Mdchen* (очаровательная девушка), не то служанка в его доме, не то работающая поблизости. Андреа Ли писала в журнале *The New Yorker,* что одним из критериев, которым пользовались буржуазные семьи в Австро-Венгрии, выбирая девушек для работы по дому, было условие, чтобы они подходили для лишения девственности подрастающих в семье юношей, отчасти для того, чтобы отвлечь их от возможного тяготения к гомосексуализму. Вспоминая прошлое, я с интересом отмечаю, что опыт, который вполне мог восприниматься другими как связанный с эксплуатацией, для меня не означал ничего подобного.

Мой первый эротический опыт был связан с Митци – привлекательной, чувственной девушкой лет двадцати пяти. Это случилось однажды днем, мне было восемь лет, я выздоравливал после простуды. Она присела на край постели и прикоснулась к моему лицу. Я дал понять, что мне это приятно, и тогда она расстегнула блузку, обнажив свой большой бюст, и спросила, не хочу ли я ее потрогать. Я едва понимал, о чем она говорит, но ее попытка соблазнения подействовала на меня, и я вдруг почувствовал то, что не чувствовал никогда прежде.

Я начал, под некоторым ее руководством, исследовать ее тело, но она вдруг смутилась и сказала, что мы должны остановиться, иначе я могу забеременеть. Но как я мог забеременеть? Мне было прекрасно известно, что дети рождаются только у женщин. Откуда у мальчика может родиться ребенок?

– Из пупка, – ответила она. – Доктор посыпает его порошком, и пупок развязывается, чтобы ребенок мог выйти наружу.

Какая#то часть меня знала, что это невозможно. Но другая часть была не столь уверена, и хотя это казалось неправдоподобным, меня слегка встревожили возможные последствия. Меня беспокоило, что скажет мама, если я забеременею. Эта обеспокоенность и изменившееся настроение Митци положили конец моему первому сексуальному опыту. Но с тех пор Митци продолжала открыто говорить мне о своих сексуальных желаниях и что могла бы осуществить их со мной, будь я постарше.

Но Митци не стала хранить мне верность, дожидаясь, пока я достигну возраста, соответствующего ее требованиям. Через несколько недель после нашего краткого рандеву в моей постели она сошлась с ремонтником, приходившим чинить нашу газовую плиту. Месяц или два спустя она убежала с ним в Чехословакию. После этого я много лет считал, что убежать в Чехословакию – это то же самое, что отдаться чувствам и посвятить этим радостям жизнь.

Характерными чертами нашего буржуазного семейного счастья были еженедельная игра в карты в доме моих родителей, семейное празднование еврейских праздников и летние каникулы. По воскресеньям тетя Минна, младшая сестра моей мамы, и дядя Сруль, ее муж, приходили к нам вечером пить чай. Мой отец и Сруль проводили бóльшую часть времени за карточной игрой в пинокль, в которую мой отец играл превосходно и делал это очень оживленно и весело.

По случаю Песаха наша семья собиралась вместе в доме дедушки и бабушки, Герша и Доры Цимельс. Мы читали Хаггаду – рассказ о бегстве евреев из египетского плена, а затем наслаждались заботливо приготовленными моей бабушкой пасхальными блюдами, венцом была ее фаршированная рыба, которую я по#прежнему считаю самым вкусным блюдом на свете. Я особенно хорошо запомнил Песах 1936 года. За несколько месяцев до праздника тетя Минна вышла замуж за дядю Сруля, и я тоже присутствовал на свадьбе – помогал нести шлейф ее прекрасного платья. Сруль был довольно богат. Он основал успешное кожевенное предприятие, и его свадьба с Минной была такой изысканной, как ничто виденное мною раньше. Поэтому я был очень доволен доверенной мне ролью.

В первый пасхальный вечер я простодушно рассказал Минне, как мне понравилась ее свадьба, где все были так красиво одеты и еда была так сервирована. Я сказал, что эта свадьба была так прекрасна, что я хочу, чтобы у нее скоро была еще одна, чтобы я мог снова испытать это особое ощущение. Чувства Минны по отношению к Срулю, как я узнал впоследствии, оказались несколько противоречивыми. Она считала, что превосходит его в интеллектуальном и социальном плане, и поэтому сразу подумала, что я говорю не о самом событии, а о выборе ее спутника жизни. Она решила, что мне хотелось бы, чтобы она вышла замуж за кого#нибудь другого – быть может, более соответствующего ее уму и происхождению. Минна страшно рассердилась и прочитала мне длинную лекцию о святости брачных уз. Как я посмел предположить, что она так скоро захочет сыграть еще одну свадьбу, выйти замуж за кого#то другого? Как я узнал впоследствии, читая книгу Фрейда “Психопатология обыденной жизни”, фундаментальный принцип динамической психологии гласит, что бессознательное никогда не лжет.

Август, время летних каникул, мои родители и мы с Людвигом всегда проводили в Менихкирхене – фермерской деревушке в пятидесяти милях к югу от Вены. В июле 1934#го мы как раз готовились к отъезду туда, когда канцлер Австрии Энгельберт Дольфус был убит группой австрийских нацистов, переодетых полицейскими. Это была первая буря, отпечатавшаяся в моем зарождавшемся политическом сознании.

Подражая Муссолини, Дольфус, избранный канцлером в 1932 году, добился слияния христианских социалистов с Отечественным фронтом и установил авторитарный режим, выбрав в качестве эмблемы разновидность обычного креста, а не свастику, тем самым выражая приверженность христианским, а не нацистским идеалам. Чтобы обеспечить себе контроль над правительством, он отменил австрийскую конституцию и объявил вне закона все оппозиционные партии, включая нацистов. Хотя Дольфус и противостоял стремлению австрийского национал-социализма создать пангерманское государство, которое объединило бы весь немецкоговорящий народ, его отмена старой конституции и конкурирующих политических партий открыла двери для прихода Гитлера. После убийства Дольфуса, в течение первых лет правления его преемника, Курта фон Шушнига, австрийская нацистская партия была загнана еще глубже в подполье. Тем не менее она продолжала набирать сторонников, особенно среди учителей и других гражданских служащих.

Гитлер был австрийцем и жил в Вене. Он переехал в столицу из своего родного города Браунау-на-Инне в 1908 году в возрасте девятнадцати лет в надежде стать художником. Хотя у него и был некоторый талант живописца, после нескольких попыток ему так и не удалось

поступить в Венскую академию художеств. Но в Вене он попал под влияние Карла Люгера. Именно на примере Люгера Гитлер впервые познакомился с властью ораторской демагогии и политической выгодой антисемитизма.

Гитлер с юных лет мечтал об объединении Австрии и Германии. В связи с этим программа немецкой нацистской партии, отчасти бравшей за образец австрийских нацистов, с самого своего возникновения в двадцатых годах включала пункт об объединении немецкоговорящего народа в Великую Германию. Осенью 1936 года Гитлер начал претворять этот пункт в жизнь. Придя в 1933 году к власти в Германии, в 1935#м он восстановил воинскую повинность, а в следующем году приказал войскам вновь занять Рейнскую область – немецкоговорящий регион, по условиям Версальского договора демилитаризованный и поставленный под надзор Франции. После этого его выступления стали агрессивнее, и теперь в них содержалась угроза нападения на Австрию. Шушниг мечтал умиротворить Гитлера, в то же время сохранив независимость своей страны, поэтому он отреагировал на угрозы, попросив Гитлера о встрече. Они встретились 12 февраля 1938 года в Берхтесгадене, вблизи австрийской границы, где Гитлер, движимый сентиментальными побуждениями, устроил себе частную резиденцию.

Демонстрируя силу, Гитлер прибыл на эту встречу в сопровождении двух генералов и угрожал вторжением в Австрию, если Шушниг не отменит ограничения, наложенные на деятельность австрийской нацистской партии, и не назначит троих нацистов на ключевые министерские должности. Шушниг отказался. Но Гитлер усилил давление, и в тот же день обессиленный канцлер в конце концов сдался, согласившись легализовать нацистскую партию, выделить ей два министерских портфеля, освободить нацистов, которых держали под стражей как политических заключенных. Но соглашение между Шушнигом и Гитлером только увеличило жажду власти у австрийских нацистов. Ставшие теперь группой немалых размеров, они вышли из подполья и бросили вызов правительству Шушнига, устроив несколько выступлений, которые полиции оказалось непросто подавить. Перед лицом угрозы гитлеровской агрессии извне и восстания австрийских нацистов изнутри Шушниг перешел в наступление и решительно объявил о референдуме, который должен был состояться 13 марта, всего через месяц после его встречи с Гитлером. Вопрос, вынесенный на этот референдум, был прост: должна ли Австрия остаться свободной и независимой, да или нет?

Этот смелый шаг Шушнига, высоко оцененный моими родителями, встревожил Гитлера, так как казалось почти несомненным, что референдум закончится победой сторонников независимости Австрии. Гитлер отреагировал, мобилизовав войска и пригрозив вторжением, если Шушниг не перенесет референдум, не подаст в отставку и не сформирует правительство, которое должен был возглавить новый канцлер – австрийский нацист Артур Зейсс-Инкварт. Шушниг обратился за помощью к Великобритании и Италии – двум странам, которые до этого поддерживали независимость Австрии. К ужасу венских либералов, таких как мои родители, ни одна из этих стран не отреагировала. Покинутый потенциальными союзниками, стремясь избежать бессмысленного кровопролития, вечером 11 марта Шушниг подал в отставку.

Несмотря на то что президент Австрии согласился на все требования Германии, на следующий день Гитлер начал вторжение.

Дальнейшее оказалось сюрпризом. Вместо толп возмущенных австрийцев Гитлера восторженно встречало ощутимое большинство населения. Как отметил Джордж Беркли, это резкое превращение граждан, еще вчера кричавших о своей верности Австрии и поддерживавших Шушнига, в людей, приветствующих гитлеровские войска как “германских братьев”, нельзя объяснить просто выходом десятков тысяч нацистов из подполья. То, что произошло, представляло собой скорее одно из “самых быстрых и полных массовых обращений в новую веру” во всей человеческой истории. Как писал об этом впоследствии Ханс

Ружичка, “это – люди, которые рукоплескали императору, а затем проклинали его, которые приветствовали демократию после свержения императора, а затем аплодировали [дольфусовскому] фашизму, когда к власти пришел новый режим. Сегодня такой человек нацист, завтра он будет кем#нибудь еще”.

Австрийская пресса не стала исключением. В пятницу 11 марта *Reichspost,* одна из ведущих газет страны, поддерживала Шушнига. Два дня спустя та же газета на первой странице опубликовала редакторскую статью, озаглавленную “К исполнению”, в которой говорилось: “Благодаря гению и решимости Адольфа Гитлера час всегерманского единства настал”.

Злобные нападки на евреев, начавшиеся в середине марта 1938 года, достигли апогея восемь месяцев спустя, во время Хрустальной ночи. Когда я впоследствии читал об этом, я узнал, что отчасти ночь была вызвана событиями 28 октября 1938 года. В тот день нацисты депортировали семнадцать тысяч евреев, происходивших из Восточной Европы, бросив их на произвол судьбы возле городка Збоншинь на границе Германии и Польши. В то время нацисты по#прежнему рассматривали эмиграцию, добровольную или насильственную, как способ решения “еврейского вопроса”. Утром 7 ноября семнадцатилетний еврейский юноша Гершель Гриншпан, взбешенный депортацией его родителей в Збоншинь из их дома в Германии, застрелил Эрнста фон Рата, третьего секретаря посольства Германии в Париже, по ошибке приняв его за германского посла. Два дня спустя, используя это событие как предлог, чтобы обрушиться на еврейство, организованные толпы подожгли большинство синагог в Германии и Австрии.

Из всех городов, бывших под властью нацистов, Вена пала особенно низко. Над евреями издевались и жестоко били, выгоняли с предприятий и временно выселяли из домов, после чего их предприятия и дома грабили алчные соседи. Наша прекрасная синагога на Шопенгауэрштрассе была полностью уничтожена. Симон Визенталь, ведущий охотник за нацистами после Второй мировой войны, впоследствии говорил, что “по сравнению с Веной Хрустальная ночь в Берлине была милым рождественским праздником”.

В день Хрустальной ночи моего отца задержали, а его магазин конфисковали и передали новому владельцу, нееврею. Это делалось в порядке так называемой ариизации (*Ariesierung*) собственности – узаконенной нацистами формы грабежа. С середины ноября 1938 года, когда моего отца выпустили из#под стражи, до августа 1939#го, когда они с мамой уехали из Вены, мои родители очень бедствовали. Как я узнал намного позже, они получали продовольствие, а отец – иногда и возможность работать, например переносить мебель, от *Israelitische Kultusgemeinde der Stadt Wien* – Еврейской общины города Вены.

Мои родители знали об антиеврейских законах, введенных в Германии после прихода Гитлера к власти, и понимали, что насилие в Вене теперь едва ли утихнет. Они были уверены, что нам нужно уезжать, причем как можно скорее. Брат моей мамы, Берман Цимельс, лет десять назад переехал из Австрии в Нью-Йорк, где устроился работать бухгалтером. Мама написала ему 15 марта 1938 года, всего через три дня после вступления Гитлера в Вену, и он быстро прислал нам заверенные нотариусом письма, гарантирующие американским властям, что он обеспечит нас средствами к существованию в Соединенных Штатах. Однако в 1924 году Конгресс принял закон об иммиграции, устанавливавший квоты на число иммигрантов в Соединенные Штаты из стран Восточной и Южной Европы. Так как мои родители родились на территории, которая теперь входила в состав Польши, нам потребовалось около года дожидаться повышения квоты, несмотря на то что в нашем распоряжении были требуемые гарантийные письма. Когда размер квоты был наконец объявлен, нам пришлось эмигрировать поэтапно, тоже из#за законов об иммиграции, где оговаривался порядок, в котором члены одной семьи имели право въезжать в Соединенные Штаты. Согласно этому порядку первыми могли приехать родители моей мамы, что они и сделали в феврале 1939 года, затем,

в апреле, мы с братом и, наконец, родители – в конце августа, всего за несколько дней до того, как разразилась Вторая мировая война.

Из-за того что у моих родителей отняли их единственный источник дохода, у нас не было денег на дорогу до Соединенных Штатов. Поэтому родители подали прошение в Еврейскую общину, чтобы им оплатили полтора билета на корабль компании *Holland America Line*: один билет для моего брата и полбилета для меня. Несколько месяцев спустя они подали прошение об оплате двух билетов для них самих. Нам повезло, что оба прошения удовлетворили. Мой отец был честным, добросовестным человеком и всегда вовремя платил по счетам. У меня сейчас находятся все документы, которые прилагались к его прошению, и они показывают, как исправно он платил свои членские взносы в Еврейскую общину. В аттестации, приложенной сотрудником общины к прошению отца, особо отмечается, что это человек достойный, с безупречной репутацией.

Последний год в Вене сыграл в моей жизни определяющую роль. Разумеется, он заронил во мне чувство глубокой, неизменной благодарности за жизнь, выпавшую мне в Соединенных Штатах. Но несомненно и то, что зрелище Вены под властью нацистов было также моим первым знакомством с темной, садистской стороной человеческого поведения. Как понять эту дикую жестокость, внезапно охватившую столь многих людей? Как могло высокообразованное общество так быстро принять политику карательных мер, в основе которой лежат ненависть и презрение к целому народу?

Ответить на эти вопросы сложно. Многие исследователи пытались предложить свои обрывочные и противоречивые ответы. Один из выводов, который будоражит мои чувства, состоит в том, что качество культуры того или иного общества не может служить надежным показателем его уважения к человеческой жизни. Культура просто не способна избавить людей от их склонностей и преобразовать их образ мышления. Стремление уничтожать людей, не принадлежащих к собственной группе, может быть врожденным и возбуждаться почти в любой сплоченной группе.

Я сильно сомневаюсь, что какие#либо из подобных псевдогенетических наклонностей могли бы работать в полном вакууме. Немцы в целом не разделяли озлобленного антисемитизма австрийцев. Почему же тогда культурные ценности венцев так кардинально разошлись с их моральными ценностями? Разумеется, поведение венцев в 1938 году во многом объясняется чистым оппортунизмом. Успехи еврейского сообщества – экономические, политические, культурные и академические – вызывали зависть и жажду мести у неевреев, особенно в университетской среде. Процент членов нацистской партии среди университетских преподавателей намного превосходил таковой среди населения в целом. В результате венцы-неевреи стремились продвинуться в своей профессии, заняв места преуспевших евреев, – и евреи, работавшие университетскими преподавателями, юристами и врачами, быстро остались без работы. Многие венцы просто присвоили себе жилье и имущество евреев. В результате, как показало подробное исследование этого периода, которое провели Тина Вальцер и Штефан Темпль, “большое число адвокатов, судей и врачей в 1938 году повысило уровень собственного благосостояния, ограбив своих ближних – евреев. Успех многих австрийцев в наши дни основан на деньгах и собственности, украденных шестьдесят лет назад”.

Еще одно объяснение этого расхождения культурных и моральных ценностей связано с переходом от культурной формы антисемитизма к расовой. Культурный антисемитизм основан на представлении о “еврейскости” как религиозной или культурной традиции, передаваемой путем обучения, через особые обычаи и образование. Эта форма антисемитизма приписывает евреям определенные отталкивающие психологические и социальные особенности, приобретаемые путем усвоения культуры, например неодолимое стремление к наживе. Однако такой антисемитизм также предполагает, что, поскольку еврейскость при-

обретается воспитанием в еврейской семье, эти особенности можно и устранить через образование или обращение в иную веру, когда еврей или еврейка преодолевает свое еврейство. Еврей, обратившийся в католицизм, в принципе может быть ничем не хуже любого другого католика.

Считается, что расовый антисемитизм, напротив, происходит из убеждения, что евреи как раса генетически отличаются от других рас. Это представление восходит к доктрине богоубийства, которой долгое время учила Римско-католическая церковь. Как доказывал Фредерик Швейцер, католик, изучавший историю евреев, эта доктрина и положила начало представлениям о том, что евреи повинны в смерти Христа (до недавнего времени Католическая церковь не отрекалась от этих представлений). Согласно Швейцеру, эта доктрина предполагала, что евреи, виновные в богоубийстве, как раса обладают врожденным недостатком человечности и поэтому должны генетически отличаться от других людей, быть недолюдьми. Значит, их можно без сожаления исключить из числа человеческих рас. Расовый антисемитизм был обоснован испанской инквизицией в начале xiv века и воспринят в семидесятых годах xix века некоторыми австрийскими (и немецкими) интеллектуалами, в числе которых были Георг фон Шенерер, лидер пангерманских националистов в Австрии, и Карл Люгер, венский бургомистр. Хотя до 1938 года расовый антисемитизм и не был в Вене господствующей политической силой, после марта этого года он приобрел статус официальной государственной политики.

После того как расовый антисемитизм пришел на смену культурному, ни один еврей уже никак не мог стать “истинным” австрийцем. Обращение (религиозного свойства) стало невозможным. Единственно возможным решением еврейского вопроса оставалось изгнание или истребление евреев.

Мы с братом выехали в Брюссель на поезде в апреле 1939 года. Мне, девятилетнему, было очень тяжело покидать родителей, хотя отец не терял оптимизма, а мама невозмутимо уверяла, что все будет в порядке. Когда мы доехали до границы Германии с Бельгией, поезд ненадолго остановился, и в вагон вошли немецкие таможенники. Они потребовали, чтобы мы показали им ювелирные изделия и любые другие ценные вещи, которые могли у нас быть. Молодая женщина, ехавшая вместе с нами, предупреждала нас с Людвигом о возможности такого требования. Поэтому я спрятал в кармане небольшое золотое колечко с моими инициалами, подаренное мне на семилетие. Страх, который я всегда испытывал в присутствии нацистов, стал почти невыносимым, когда они зашли в поезд, и я очень боялся, что они найдут это колечко. К счастью, они не обратили на меня особого внимания, и я остался дрожать незамеченным.

В Брюсселе мы остановились у тети Минны и дяди Сруля. Солидные финансовые средства дали им возможность приобрести визу, позволившую въехать в Бельгию и поселиться в Брюсселе. Они собирались переехать к нам в Нью-Йорк через несколько месяцев. Из Брюсселя мы с Людвигом поехали на поезде в Антверпен, где сели на пароход “Герольдштейн” компании *Holland America Line* и через десять дней прибыли в город Хобокен в штате Нью-Джерси, проследовав мимо гостеприимно приветствовавшей нас статуи Свободы.

3. Американское образование

Приехав в Соединенные Штаты, я словно заново родился. Я еще не предвидел этого и не знал языка, чтобы сказать: *"Free at last"*[4], но сразу почувствовал, и чувство это осталось во мне навсегда. Джеральд Холтон, историк науки из Гарвардского университета, отметил, что для многих венских эмигрантов моего поколения полученное в Вене отличное образование в сочетании с чувством освобождения по прибытии в Америку высвободили безграничную энергию и вдохновили нас на то, чтобы мыслить по#новому. Это в полной мере относится и ко мне. Среди многого другого, что дала мне эта страна, было превосходное гуманитарное образование, полученное в Еврейской школе Флэтбуша, средней школе Эразмус-холл и Гарвардском колледже.

Мы с братом поселились у маминых родителей, Герша и Доры Цимельс, приехавших в Бруклин в феврале 1939 года, за два месяца до нас. Я совсем не говорил по#английски и чувствовал, что мне нужно приспосабливаться к новой жизни. Поэтому я отбросил последнюю букву моего имени, Эрих (*Erich*), и стал пользоваться им в нынешнем написании. С Людвигом произошло еще более серьезное превращение – в Льюиса. Наши тетя Паула и дядя Берман, жившие в Бруклине с тех пор, как в двадцатые годы они приехали в Соединенные Штаты, устроили меня в государственную начальную школу №217, расположенную в квартале Флэтбуш недалеко от дома, где мы жили. Я ходил в эту школу только двенадцать недель, но к началу летних каникул уже умел достаточно хорошо говорить по#английски, чтобы меня понимали. В то лето я перечитал книгу Эриха Кестнера "Эмиль и сыщики" – одну из любимых книг моего детства, на этот раз на английском, и был искренне горд этим достижением.

Мне не очень нравилось в школе №217. Туда ходили и многие другие еврейские дети, но я тогда этого не понимал. Мне как раз казалось, что, раз среди учеников так много светловолосых и голубоглазых, значит, они не евреи, и я боялся, что рано или поздно они станут относиться ко мне враждебно. Поэтому я охотно поддался на уговоры дедушки и перешел в еврейскую приходскую школу. Дедушка был весьма религиозным и ученым человеком, хотя и немного не от мира сего. Мой брат сказал, что наш дедушка – единственный известный ему человек, который умеет говорить на семи языках, но на всех говорит так, что ничего не понятно. Дедушка мне очень нравился, а я нравился ему, и он без труда убедил меня в течение лета заниматься с ним ивритом, чтобы осенью я мог поступить в Еврейскую школу Флэтбуша. В программу этой знаменитой дневной еврейской школы входили уроки светских дисциплин на английском и религиозные занятия на иврите, и то и другое с очень высоким уровнем требований.

Дедушкины уроки позволили мне осенью 1939 года поступить в эту школу. Когда в 1944 году я ее окончил, я знал иврит почти так же хорошо, как английский. Я прочитал на иврите Пятикнижие, Книги Царств, Книги Пророков и кое#что из Талмуда. Впоследствии я почувствовал и радость, и гордость, когда узнал, что Барух Бламберг, который в 1976 году удостоился Нобелевской премии по физиологии и медицине, тоже был из числа людей, получивших прекрасное образование в Еврейской школе Флэтбуша.

Мои родители уехали из Вены в конце августа 1939 года. Незадолго до их отъезда моего отца еще раз арестовали и привезли на Венский футбольный стадион, где допрашивали и запугивали "коричневые рубашки" из *Sturm Abteilung* (*SA*). Но после того, как выяснилось,

[4] *Free at last* – наконец свободен (англ.).

что он получил американскую визу и собирается уехать, его освободили, и это, возможно, спасло ему жизнь.

Когда мои родители приехали в Нью-Йорк, отец, который ни слова не знал по#английски, нашел себе работу на фабрике, производившей зубные щетки. В Вене зубная щетка была символом его унижения, но в Нью-Йорке с нее начался его путь к лучшей жизни. Хотя ему и не нравилась эта работа, он взялся за нее со своим обычным рвением и вскоре получил выговор от представителя профсоюза за то, что делал очень много щеток за единицу времени, создавая впечатление, что другие работают слишком медленно. Но отца это не остановило. Он всей душой полюбил Америку. Как и многие другие иммигранты, он нередко называл ее *goldene Medina* – золотой страной, сулившей евреям безопасность и демократию. Еще в Вене он читал романы Карла Мая, мифологизировавшие покорение американского Запада и храбрость американских индейцев, и им тоже по#своему овладел дух Фронтира.

Со временем мои родители накопили достаточно денег, чтобы взять в аренду и обустроить скромный магазин одежды. Они работали вместе, продавая простые женские платья и фартуки, а также мужские рубашки, галстуки, нижнее белье и пижамы. Мы сняли квартиру над этим магазином, в доме номер 411 по Черч-авеню в Бруклине. Родители зарабатывали достаточно не только для жизни, но и на то, чтобы через некоторое время выкупить дом, в котором находились магазин и квартира. Кроме того, они смогли оплачивать мое обучение в колледже и медицинской школе.

Родители были так заняты своим магазином, источником финансового благополучия себя и своих детей, что совсем не приобщались к культурной жизни Нью-Йорка, которой мы с Льюисом начали увлекаться. И все же, несмотря на их вечные труды, они не теряли оптимизма и всегда поддерживали нас, никогда не пытаясь навязывать свои решения в том, что касалось работы и развлечений. Мой отец был честен и принципиален до одержимости: он считал своим долгом немедленно платить по всем счетам за товары, приходившие от поставщиков, и нередко дважды пересчитывал сдачу, перед тем как отдать ее покупателю. От нас с Льюисом он ожидал такой же щепетильности в финансовых вопросах. Но помимо ожидания того, что я буду вести себя разумно и корректно, я никогда не чувствовал с его стороны никакого давления в выборе специальности. Я, в свою очередь, никогда и не ждал от него советов по этим вопросам, учитывая его скромный опыт в социальной и образовательной сферах. За советами я обычно обращался к матери или, чаще, к брату, преподавателям и особенно часто – к своим друзьям.

Отец оставил работу в магазине лишь за неделю до смерти, в 1977 году, когда ему было семьдесят девять. Вскоре после этого мама продала и магазин, и дом, в котором он располагался, и переехала в более комфортабельную и немного более богатую квартиру неподалеку, на Оушн-Паркуэй. Она умерла в 1991 году, когда ей было девяносто четыре.

Когда в 1944 году я окончил Еврейскую школу Флэтбуша, она еще не была связана, как сегодня, с определенной средней школой, поэтому я пошел в Эразмус-холл – местную государственную среднюю школу, отличавшуюся очень высоким уровнем образования. Там я увлекся историей, литературной деятельностью и девушками. Я писал статьи для школьной газеты *The Dutchman*[1] и стал редактором ее спортивного раздела. Я также играл в футбол и был одним из капитанов команды по легкой атлетике (рис. 3–1). Второй капитан, Рональд Берман, один из моих самых близких школьных друзей, был превосходным бегуном и однажды выиграл состязание по бегу на полмили в городском чемпионате (я пришел пятым). Впоследствии Рон стал шекспироведом и профессором английской литературы в Калифорнийском университете в Сан-Диего. Он был председателем Национального фонда гуманитарных наук в администрации президента Никсона.

Мой учитель истории, Джон Кампанья, выпускник Гарварда, убедил меня подать документы в Гарвардский колледж. Когда я впервые заговорил о поступлении в Гарвард с родителями, отец (который, как и я, плохо представлял себе, чем отличаются друг от друга разные американские университеты) отговаривал меня, потому что подавать документы в еще один колледж было дорого. Я тогда уже подал документы на поступление в Бруклинский колледж – прекрасное учебное заведение, в котором ранее учился мой брат. Узнав об опасениях отца, мистер Кампанья вызвался из собственного кармана заплатить за меня пятнадцать долларов, необходимых для подачи документов. Я был одним из двух поступивших в Гарвард студентов нашего выпуска из 1150 человек (другим был Рон Берман), причем мы оба получили стипендию. После этого мы оценили истинный смысл гарвардского гимна – *Fair Harvard.* Действительно, *fair Harvard*[5]!

3–1. Команда-победительница на Пенсильванской эстафете 1948 года. Пенсильванская эстафета – это ежегодное общенациональное соревнование по легкой атлетике для школьников и студентов колледжа. Мы выиграли состязание по бегу на одну милю для школьников. (*Фото любезно предоставил Рон Берман.*)

Слева направо: Джон Ракер, Эрик Кандель, Джон Бартел, Рональд Берман, Питер Маннус

Хотя я был очень взволнован своей удачей и бесконечно благодарен мистеру Кампанье, я с тревогой покидал Эразмус-холл в полной уверенности, что мне уже никогда не доведется испытать безграничную радость, которую мне давали ощущение социализации и успехи в учебе и спорте в этой школе. В еврейской школе я был просто способным учеником. В Эразмусе я стал не только способным учеником, но и спортсменом. Для меня это была огромная разница. Именно в Эразмусе я впервые почувствовал, что перестал находиться в тени брата, которая так тяготила меня в годы нашей учебы в Вене. У меня впервые были свои собственные увлечения.

В Гарварде я специализировался на истории и литературе современной Европы. Это была специализация по выбору, которая требовала подготовить на последнем курсе[6] исследовательскую курсовую. Те и только те, кто выбирал эту специальность, имели право получать консультации начиная со второго курса вначале небольшими группами, а затем в индивидуальном порядке. Моя исследовательская работа была посвящена отношению к национал-социализму трех немецких писателей: Карла Цукмайера, Ханса Кароссы и Эрн-

[5] *The Dutchman* – “Голландец”. Школа Эразмус-холл названа в честь Эразма Роттердамского, а он был голландцем.

[6] Обучение в Гарвардском колледже (как и в других американских колледжах высшей ступени) занимает четыре года. Выпускники колледжа получают диплом бакалавра.

ста Юнгера. Эти трое были представителями разных позиций, отражавших широкий спектр реакций немецких интеллектуалов на наступление нацизма. Цукмайер, бесстрашный либерал, всегда осуждавший нацизм, рано покинул Германию и переехал вначале в Австрию, а затем в Соединенные Штаты. Каросса, врач и поэт, занял нейтральную позицию и телом остался в Германии, хотя его душа, как он утверждал, бежала в другие края. Юнгер, лихой германский офицер в годы Первой мировой войны, воспевал духовные добродетели войны и воинов и был идейным предтечей нацистов.

Я пришел к неутешительному выводу, что многие немецкие художники и интеллектуалы, в том числе такие, казалось бы, утонченные умы, как Юнгер, или великий философ Мартин Хайдеггер, или дирижер Герберт фон Караян, с готовностью и рвением поддались националистическому пылу и расистской пропаганде национал-социализма. Последующие исследования Фрица Штерна и других историков показали, что в первый год правления Гитлера у него не было широкой народной поддержки. Если бы интеллектуалы сумели успешно мобилизоваться и повести за собой какие#то слои населения, они вполне могли бы остановить или хотя бы сильно ограничить Гитлера в его стремлении к абсолютной власти.

Я начал работать над своей курсовой на третьем курсе, в то время когда еще собирался после колледжа заниматься историей европейской культуры. Однако ближе к концу третьего курса я познакомился с Анной Крис, студенткой Рэдклифф-колледжа[7], которая тоже эмигрировала из Вены, и влюбился в нее. В то время я ходил на два курса семинаров Карла Фиетора: один был посвящен великому немецкому поэту Гете, другой – современной немецкой литературе. Фиетор был одним из самых выдающихся специалистов по немецкой культуре в Соединенных Штатах, а кроме того, талантливым и харизматичным преподавателем, и он поддерживал мое намерение продолжить заниматься немецкой историей и литературой. Он написал две книги о Гете (одну о его молодости, другую о нем как о зрелом поэте) и новаторское исследование, посвященное Георгу Бюхнеру, сравнительно малоизвестному драматургу, которого Фиетор помог заново открыть. За свою короткую жизнь Бюхнер успел написать одно из первых реалистических и экспрессионистских произведений – неоконченную пьесу “Войцек”, первую драму, изображающую простого, бестолкового человека как личность героических пропорций. Пьеса была опубликована лишь после смерти Бюхнера от брюшного тифа в 1837 году (в возрасте двадцати четырех лет), и впоследствии Альбан Берг переделал ее в либретто оперы (“Воццек”) и положил на музыку.

Анне очень нравилось, что я так хорошо знаком с немецкой литературой, и первое время мы не раз проводили вечера вместе за чтением немецких стихов – Новалиса, Рильке и Штефана Георге. На четвертом курсе я собирался выбрать еще два курса семинаров Фиетора. Но он внезапно умер от рака. Его смерть была для меня личным горем. Кроме того, из#за нее у меня оказалось много пустого места в учебном расписании, которое я уже спланировал. За несколько месяцев до смерти Фиетора я познакомился с родителями Анны, Эрнстом и Марианной Крис, двумя известными психоаналитиками из круга Фрейда. Общение с ними подогрело мой интерес к психоанализу и изменило мои представления о том, чем можно занять освободившееся теперь место в моем расписании.

Трудно передать сегодня ту притягательную силу, которую излучал психоанализ для молодых людей пятидесятых годов. Например, была разработана теория психики, которая позволила мне впервые оценить сложность человеческого поведения и мотиваций, лежащих в его основе. В ходе занятий по курсу Фиетора о современной немецкой литературе я прочитал книгу Фрейда “Психопатология обыденной жизни”, а также произведения трех дру-

[7] *Рэдклифф-колледж* был женским колледжем Гарвардского университета (впоследствии его объединили с Гарвардским колледжем).

гих авторов, интересовавшихся внутренними механизмами человеческой психики: Артура Шницлера, Франца Кафки и Томаса Манна. Даже в сравнении с сочинениями этих титанов литературы прозу Фрейда было приятно читать. Его немецкий, за который он в 1930 году получил премию Гете, был прост, кристально ясен и полон юмора и бесконечных отсылок к его собственным трудам. Эта книга открыла мне новый мир.

“Психопатология обыденной жизни” содержит ряд историй, настолько глубоко вошедших в нашу культуру, что сегодня они могли бы послужить сценарием для фильма Вуди Аллена или материалами для выступлений эстрадного сатирика. Фрейд подробно описывает совершенно обыденные, казалось бы, непримечательные события – оговорки, странные случайности, ситуации, когда люди кладут предметы не на место, неправильно пишут слова, не могут что#то запомнить, – и на этих примерах показывает, что человеческая психика подчиняется определенному набору правил, большинство из которых имеет бессознательную природу. На первый взгляд все эти недоразумения кажутся обыкновенными ошибками, незначительными случайностями, которые происходят с каждым (со мной они определенно происходили). Но Фрейд помог мне понять, что ни одна из этих ошибок не случайна. Каждая из них последовательно и объяснимо связана с остальной психической жизнью человека. Меня особенно поразило, что Фрейд написал все это, не будучи знакомым с моей тетей Минной!

Затем Фрейд доказывал, что психологический детерминизм (представление о том, что мало что, если вообще что#то, происходит в нашей психической жизни случайно, а каждое психологическое событие определяется предшествующим) играет ключевую роль не только в нормальной психической жизни, но и в психических заболеваниях. Любой симптом нервного расстройства, каким бы странным он ни казался, не странен для нашего бессознательного начала и связан с другими предшествующими психическими явлениями. Связь между оговоркой и ее причиной, между симптомом и лежащим в его основе когнитивным процессом кроется в работе защитных механизмов (вездесущих, динамичных, бессознательных психических процессов), которые приводят к непрерывной борьбе между саморазоблачающими и самозащитными психическими событиями. Психоанализ сулил возможность самопонимания и даже успешной терапии с помощью анализа бессознательных мотиваций и защитных механизмов, лежащих в основе человеческих поступков.

Что особенно привлекало меня в психоанализе во время учебы в колледже, так это то, что он совмещал в себе работу воображения, всесторонность и эмпирическую базу (по крайней мере, так мне по наивности казалось). Никакие другие представления о психической жизни и близко не дотягивали до психоанализа по диапазону приложения или тонкости объяснений.

В самом деле, вплоть до конца xix века у людей не было иных подходов к тайнам человеческой психики, кроме философской интроспекции (анализа собственных мыслей специально подготовленными наблюдателями) и откровений великих писателей, таких как Джейн Остин, Чарльз Диккенс, Федор Достоевский и Лев Толстой. Чтение всего этого вдохновляло меня в первые годы обучения в Гарварде. Однако, как я узнал от Эрнста Криса, ни подобный самоанализ, ни художественные откровения не могли обеспечить систематического накопления знаний, необходимых для заложения фундамента науки о психике. Ее фундамент требовал большего, чем откровения, – экспериментальных данных. Поэтому ощутимые успехи экспериментальной науки в области астрономии, физики и химии вдохновили исследователей психики на разработку экспериментальных методов изучения поведения.

Поиск таких методов начался с идеи Чарльза Дарвина, что человеческое поведение развилось в ходе эволюции из поведенческого репертуара наших животных предков. Эта идея положила начало представлению о том, что подопытных животных можно использовать в

качестве моделей для изучения человеческого поведения. Российский физиолог Иван Павлов и американский психолог Эдвард Торндайк проверяли на животных выводы, следующие из философского представления о том, что мы обучаемся посредством ассоциации идей, впервые сформулированного Аристотелем и впоследствии разработанного Джоном Локком. Павлов открыл выработку классических условных рефлексов – способ научить животное ассоциировать два раздражителя. Торндайк же открыл выработку инструментальных условных рефлексов, при которой животное учат ассоциировать поведенческую реакцию с ее последствиями. Эти два механизма обучения заложили фундамент научного исследования обучения и памяти не только у простых животных, но и у человека. На смену предположению Аристотеля и Локка, что обучение включает ассоциацию идей, пришел эмпирический факт, что обучение происходит путем ассоциации двух раздражителей или раздражителя и вызываемой им реакции.

В ходе исследований выработки классических условных рефлексов Павлов открыл две неассоциативные формы обучения: привыкание и сенсибилизацию. При этих формах животное обучается только свойствам единственного раздражителя и не учится ассоциировать два раздражителя друг с другом. При привыкании животное учится игнорировать раздражитель в связи с его малозначительностью, в то время как при сенсибилизации оно обучается обращать внимание на раздражитель в связи с его важностью.

Открытия Торндайка и Павлова оказали огромное влияние на психологию, положив начало бихевиоризму – первой школе эмпирического анализа обучения. Бихевиоризм сулил надежду, что поведение можно будет изучать такими же точными методами, как те, что применяются в естественных науках. К тому времени, как я поступил в Гарвард, ведущим поборником бихевиоризма стал Беррес Фредерик Скиннер. Я познакомился с его идеями в ходе разговоров с друзьями, посещавшими его курсы. Скиннер следовал философскому пути, намеченному основателями бихевиоризма. Общими усилиями они сузили кругозор бихевиоризма, настаивая на том, что подлинно научная психология должна ограничиваться лишь доступными для всеобщего наблюдения и объективного измерения аспектами поведения. Это не оставляло места для интроспекции.

Поэтому Скиннер и другие бихевиористы сосредоточились исключительно на доступном для наблюдения поведении и исключили из своих работ любые упоминания психической жизни и попытки интроспекции, так как подобные вещи нельзя наблюдать, измерять или использовать для выработки общих правил человеческого поведения. Чувства, мысли, планы, желания, мотивы и ценности (внутренние состояния и личные ощущения, которые делают нас людьми и которые психоанализ выдвинул на первый план) считались недоступными для экспериментальной науки и ненужными науке о поведении. Бихевиористы были убеждены, что всю нашу психологическую деятельность можно удовлетворительно объяснить, не рассматривая подобных психических явлений.

Психоанализ, с которым я познакомился благодаря родителям Анны, был бесконечно далек от скиннеровского бихевиоризма. Более того, Эрнст Крис приложил немало усилий, чтобы преодолеть разногласия между ними. Он доказывал, что прелесть психоанализа во многом и состоит в том, что он, подобно бихевиоризму, стремится к объективности, к отказу от выводов, сделанных путем интроспекции. Фрейд говорил, что человек не может разобраться в своих собственных бессознательных процессах, заглянув внутрь самого себя, и только специально обученный, непредвзятый внешний наблюдатель (психоаналитик) способен выявить содержание бессознательного другого человека. Фрейд тоже ценил доступные для наблюдения экспериментальные свидетельства, но считал внешнее поведение лишь одним из многих путей исследования внутренних состояний, как сознательных, так и бессознательных. Фрейд в не меньшей степени интересовался внутренними процессами, определяющими реакции человека на определенные раздражители, чем реакциями как таковыми.

Психоаналитики школы Фрейда доказывали, что, ограничивая исследование поведения анализом доступных для наблюдения измеримых действий, бихевиористы игнорируют важнейшие из вопросов, связанных с психическими явлениями.

Психоанализ был для меня тем более привлекателен из#за того, что Фрейд был венцем и евреем и вынужден был покинуть Вену. Чтение его работ на немецком пробуждало во мне тоску по той интеллектуальной жизни, о которой я слышал, но к которой так и не приобщился. Но еще важнее, чем чтение Фрейда, были для меня разговоры о психоанализе с родителями Анны – людьми необычайно интересными и увлеченными. Эрнст Крис был уже признанным историком искусства, хранителем прикладного искусства и скульптуры в венском Музее истории искусств, когда женился на Марианне и увлекся психоанализом. У него учился, в числе прочих, великий историк искусств Эрнст Гомбрих, с которым он впоследствии сотрудничал, и каждый из них внес весомый вклад в развитие современной психологии искусства. Марианна Крис была выдающимся психоаналитиком и преподавателем, а также удивительно доброжелательным человеком. Ее отцом был Оскар Рие – знаменитый педиатр, лучший друг Фрейда, лечивший его детей. Марианна была близким другом высокоодаренной дочери Фрейда Анны. Более того, именно в честь Анны Фрейд она и назвала свою дочь.

Эрнст и Марианна Крис всегда были добры ко мне, и я мог рассчитывать на их поддержку, как и все друзья их дочери. Я часто общался с ними и благодаря этому – с их коллегами, психоаналитиками Хайнцем Хартманном и Рудольфом Левенштейном. Вместе с Эрнстом Крисом они создали новое направление в психоанализе.

Когда Хартманн, Крис и Левенштейн переехали в Соединенные Штаты, они совместными усилиями подготовили ряд новаторских статей, в которых обратили внимание, что теория психоанализа придавала слишком большое значение фрустрациям и тревогам в развитии “я” – компонента психического аппарата, который, согласно теории Фрейда, находится в контакте с окружающим миром. Больше значения следует придавать нормальному когнитивному развитию. Для проверки этих идей Эрнст Крис призывал проводить эмпирические наблюдения за нормальным развитием детей. Преодолевая тем самым пропасть, разделявшую психоанализ и когнитивную психологию, которая в пятидесятые и шестидесятые еще только зарождалась, он убеждал американских психоаналитиков уделять больше внимания эмпирическим данным. Сам он, в свою очередь, стал сотрудником Центра исследования детского развития при Йельском университете и участвовал в наблюдениях, проводимых этим центром.

Наслушавшись их увлекательных дискуссий, я обратился в их веру в психоанализ как в интереснейший и, возможно, единственный подход, позволяющий разобраться в человеческой психике. Психоанализ открывал ни с чем не сравнимые возможности исследования не только рациональных и иррациональных аспектов мотивации и бессознательной и сознательной памяти, но также и упорядоченной природы когнитивного развития – развития восприятия и мышления. Эта область исследований стала казаться мне более увлекательной, чем история европейской литературы и культуры.

В пятидесятые годы считалось, что для того, чтобы стать практикующим психоаналитиком, лучше всего пойти в медицинскую школу, стать врачом и после этого выучиться на психиатра. Раньше я не рассматривал возможность выбора этого пути. Но со смертью Карла Фиетора в моем расписании освободилось место двух годовых курсов. Поэтому летом 1951 года я выбрал, почти не раздумывая, вводный курс по химии, который требовался для поступления в медицинскую школу. Мой замысел состоял в том, чтобы за четвертый год в колледже пройти курсы физики и биологии, тем временем написать курсовую и, если я не

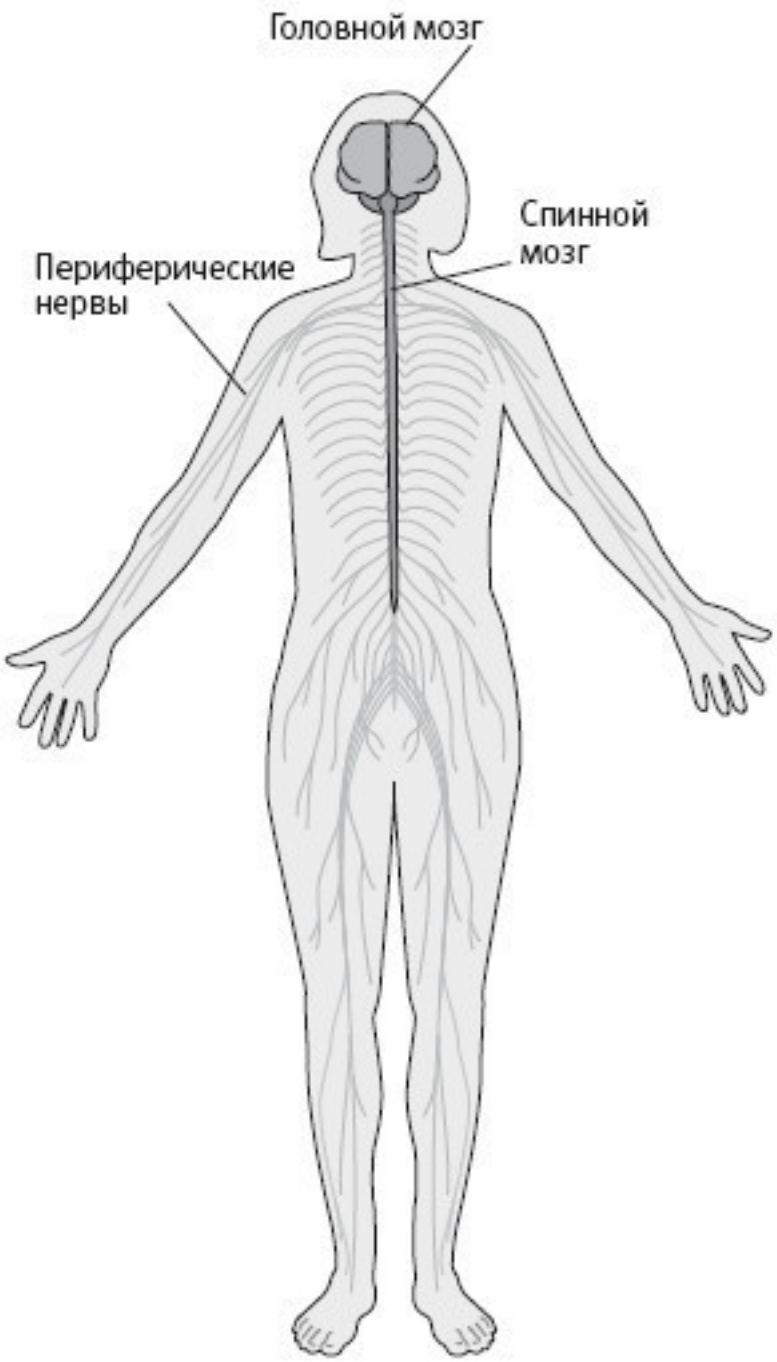
откажусь от этого замысла, пройти курс органической химии (последнее, что мне требовалось для поступления в медицинскую школу) после окончания Гарварда.

Летом 1951 года я жил в одном доме с четырьмя молодыми людьми, которые стали моими друзьями на всю жизнь. Это были Генри Нунберг (двоюродный брат Анны и сын еще одного великого психоаналитика, Германа Нунберга), Роберт Гольдбергер, Джеймс Шварц и Роберт Спитцер. Через несколько месяцев на основании того единственного курса химии и остальных показателей моей успеваемости в колледже меня приняли в Медицинскую школу Нью-Йоркского университета при условии, что я сдам недостающие курсы до дня зачисления осенью 1952 года.

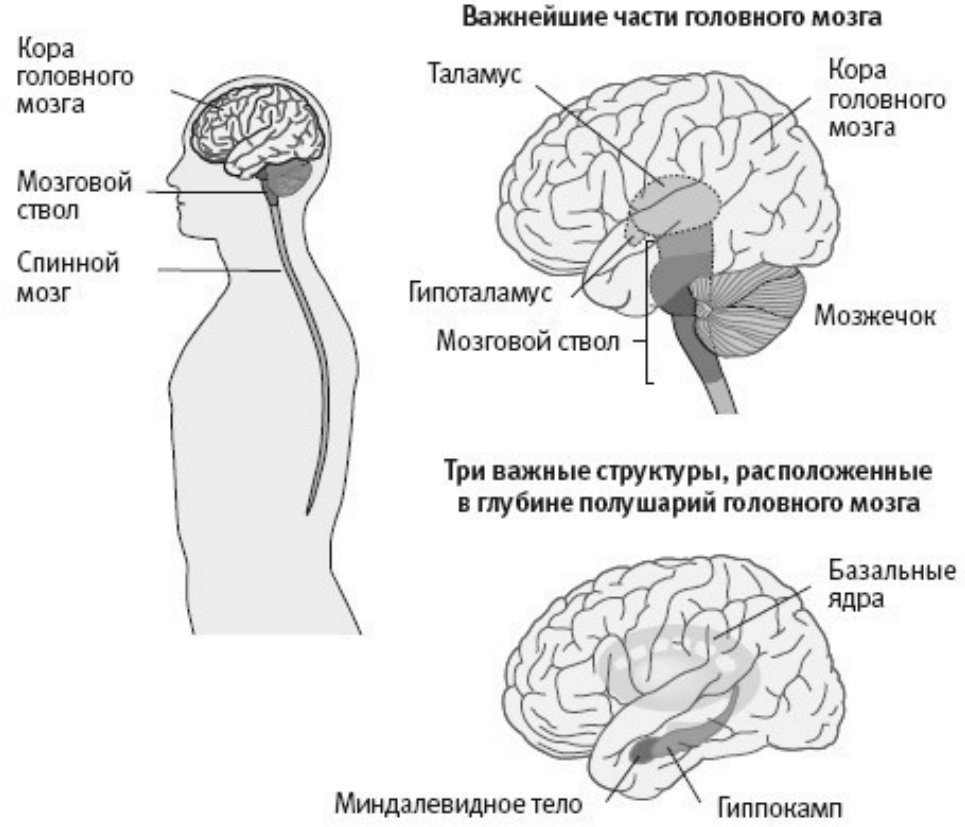
Я поступил в медицинскую школу с твердым намерением стать психоаналитиком, это намерение сохранялось во мне в течение интернатуры и резидентуры по психиатрии. Однако на третьем курсе медицинской школы я сильно заинтересовался биологическими основами практической медицины. Я решил, что стоит узнать что#нибудь о биологии мозга. Одна из причин этого решения была в том, что мне очень понравился курс анатомии головного мозга, выбранный мной на втором курсе медицинской школы. Луис Хаусман, который вел курс, велел каждому из нас вылепить из цветного пластилина увеличенную в четыре раза модель человеческого мозга. Как мои однокурсники впоследствии написали в нашем ежегоднике[8], “пластилиновый образ пробудил дремлющий зародыш творчества, и даже наименее способный из нас породил свой многоцветный мозг”.

При работе над моделью я впервые получил трехмерное представление о том, как соединены друг с другом головной и спинной мозг, вместе образующие центральную нервную систему (рис. 3–2). Я увидел, что она представляет собой в целом двусторонне-симметричную структуру, состоящую из определенных частей, каждая из которых имеет собственное интригующее название, например гипоталамус, таламус, мозжечок или миндалевидное тело. Спинной мозг оснащен механизмами, обеспечивающими работу простых безусловных рефлексов. Хаусман отмечал, что, исследуя спинной мозг, можно в миниатюре увидеть общий принцип работы нервной системы. Этот принцип состоит в том, чтобы получать сенсорную информацию, поступающую от кожи по пучкам длинных нервных волокон, называемых аксонами, и преобразовывать ее в скоординированные моторные сигналы, передаваемые мышцам и приводящие их в действие.

[8] В американских учебных заведениях есть традиция публиковать ежегодники (*yearbooks*) – сборники, содержащие фотографии учеников (студентов) и преподавателей и отражающие события прошедшего года.



3–2. Центральная и периферическая нервная система. Центральная нервная система, состоящая из головного и спинного мозга, двусторонне-симметрична. Спинной мозг получает сенсорную информацию от кожи по пучкам длинных аксонов, иннервирующих кожу. Пучки называют периферическими нервами. Кроме того, спинной мозг посылает моторные сигналы к мышцам по аксонам двигательных нейронов. Сенсорные рецепторы и моторные аксоны входят в состав периферической нервной системы.



3–3. Центральная нервная система

Продолжаясь вверх, в сторону головного мозга, спинной мозг переходит в мозговой ствол (рис. 3–3) – структуру, которая передает сенсорную информацию в расположенные выше участки головного мозга и моторные сигналы от этих участков вниз, к спинному мозгу. Мозговой ствол также регулирует внимание. Над мозговым стволом расположены гипоталамус, таламус и полушария головного мозга, поверхность которых покрыта крайне морщинистым наружным слоем – корой больших полушарий, связанной с высшими психическими функциями – восприятием, действиями, языком и планированием. В глубине коры расположены три структуры: базальные ядра, гиппокамп и миндалевидное тело (рис. 3–3). Базальные ядра помогают регулировать двигательную активность, гиппокамп задействован в некоторых аспектах работы памяти, а миндалевидное тело обеспечивает координацию автономных и эндокринных реакций в зависимости от эмоционального состояния.

Глядя на мозг, даже на его пластилиновую модель, трудно было не задаться вопросом, где размещаются в нем Фрейдовы “я”, “оно” и “сверх-я”. Фрейд живо интересовался анатомией мозга и неоднократно писал о важности биологии мозга для психоанализа. Например, в 1914 году он писал в своей работе “К введению в нарциссизм”: “Необходимо помнить, что все наши предварительные психологические положения придется когда#нибудь перенести на почву органических носителей”. В 1920 году Фрейд вновь отметил, на этот раз в работе “По ту сторону принципа удовольствия”: “Недостатки нашего описания, вероятно, исчезли бы, если бы мы могли заменить психологические термины физиологическими или химическими”.

Хотя большинство психоаналитиков в пятидесятые годы рассуждало о психике в небиологических терминах, немногие из них уже заговорили о биологии мозга и ее потенциальном значении для психоанализа. Благодаря Эрнсту и Марианне Крис я познакомился

с тремя такими психоаналитиками: это были Лоуренс Кьюби, Сидней Марголин и Мортимер Остоу. Переговорив с каждым из них, осенью 1955 года я решил пройти в Колумбийском университете курс по выбору, который вел нейрофизиолог Гарри Грундфест. В то время нейробиология во многих медицинских школах Соединенных Штатов не считалась важной дисциплиной, и в Нью-Йоркском университете никто из преподавателей не вел курса по ее основам.

Это решение от всей души поддержала Дениз Бистрен – необычайно привлекательная и высокоинтеллектуальная француженка, с которой я за некоторое время до этого начал встречаться. Когда я занимался на курсе анатомии Хаусмана, мы с Анной стали отдаляться. Наши отношения очень много значили для нас обоих, пока мы оба были в Кембридже[9], но все стало иначе после того, как я переехал в Нью-Йорк, а она осталась. Наши интересы тоже начали расходиться. Поэтому в сентябре 1953 года, вскоре после того, как Анна окончила Рэдклифф, мы расстались. Теперь Анна в высшей степени успешно работает практикующим психоаналитиком в Кембридже.

После расставания с Анной у меня были серьезные, но непродолжительные отношения еще с двумя девушками, с каждой из которых мы расстались всего через год после того, как сошлись. Когда мои отношения со второй из них уже почти разладились, я познакомился с Дениз. Я узнал о ней от нашего общего друга и позвонил ей, чтобы куда#нибудь пригласить. По ходу нашего разговора она недвусмысленно дала понять, что занята и не особенно стремится знакомиться. И все же я продолжал изо всех сил уговаривать ее. Но все было бесполезно. Наконец я обронил, что родом из Вены. Тон ее голоса внезапно изменился. Когда она узнала, что я европеец, она, должно быть, подумала, что знакомство со мной может оказаться не совсем пустой тратой времени, и согласилась.

Заехав за ней на ее квартиру на Вест-Энд-авеню, я спросил, хочет ли она пойти в кино или в лучший бар во всей округе. Она сказала, что хотела бы пойти в лучший бар, и я привез ее в свою квартиру на Тридцать первой улице, неподалеку от медицинской школы. Мы снимали эту квартиру вдвоем с моим другом Робертом Гольдбергером. После переезда мы с Бобом сделали ремонт и соорудили прекрасно работающий бар – определенно лучше, чем у кого#либо из наших знакомых. Боб, настоящий ценитель шотландского виски, держал превосходную коллекцию, включавшую даже несколько односолодовых сортов.

Наши (в основном Боба) способности в обработке древесины произвели на Дениз впечатление, но виски она не пила. Поэтому я открыл бутылку шардоне, и мы прекрасно провели вечер, в ходе которого я рассказал ей о жизни в медицинской школе, а она мне – о своей работе по социологии в аспирантуре Колумбийского университета. Предметом особого интереса для Дениз было использование количественных методов для изучения изменений человеческого поведения. Через много лет она применила эту методологию для изучения возникновения подростковой наркомании. Ее эпидемиологические исследования стали вехой в развитии социологии: на их основе была разработана “шлюз-гипотеза”, согласно которой переход к употреблению более сильных наркотиков связан с определенными элементами естественного хода человеческого развития.

Пора ухаживания прошла у нас удивительно гладко. Интеллект и любознательность сочетались в Дениз с удивительной способностью украшать повседневную жизнь. Она превосходно готовила, одевалась с большим вкусом (иногда она сама шила одежду) и любила окружать себя вазами, лампами и художественными произведениями, оживлявшими пространство, в котором она жила. Примерно так же, как Анна изменила мои представления о

[9] Гарвардский университет находится в городе Кембридже (штат Массачусетс).

психоанализе, Дениз повлияла на мои представления и об эмпирической науке, и о качестве жизни.

Кроме того, благодаря Дениз я стал отчетливее ощущать себя евреем и человеком, пережившим Холокост. Отец Дениз, талантливый инженер-механик, происходил из старинного рода раввинов и ученых людей, учился в Польше на раввина. На двадцать втором году жизни он поселился во Франции, в нормандском городе Кан, где учился математике и машиностроению. Он стал агностиком и перестал посещать синагогу, но в своей обширной библиотеке хранил коллекцию религиозных книг на иврите, в том числе Мишну и выпущенное в Вильне издание Талмуда.

Семья Бистренов оставалась во Франции в течение всей войны. Мать Дениз помогла ее отцу бежать из французского концентрационного лагеря, и они оба сумели пережить войну, скрываясь от нацистов в городке Сен-Сере на юго-западе Франции. Значительную часть этого времени Дениз жила отдельно от родителей: ее спрятали в католическом монастыре в городе Каор, милях в пятидесяти от Сен-Сере. Между моими воспоминаниями и воспоминаниями Дениз о жизни в Европе под властью нацистов было немало общего, хотя ей пришлось намного хуже, чем мне. Эти воспоминания не ослабевали с годами и еще больше сблизили нас.

Один случай из жизни Дениз произвел на меня неизгладимое впечатление. В течение тех нескольких лет, что она провела в монастыре, никто кроме матери-настоятельницы не знал, что она еврейка, и на нее не оказывали ни малейшего давления, чтобы она обратилась в католицизм. Но Дениз испытывала неловкость в своих отношениях с одноклассницами, понимая, что отличается от них. Она не ходила на исповедь, а по воскресеньям во время мессы не принимала святое причастие. Мать Дениз, Сару, стало смущать, что ее дочь тем самым выделяется, и тревожить, что люди могут узнать, кто она на самом деле, а это было опасно. Она поговорила об этом с Исером, отцом Дениз, и они решили крестить Дениз.

Сара пешком и на автобусе преодолела почти пятьдесят миль, разделявших их убежище и монастырь в Каоре. Оказавшись у стен монастыря, она встала перед тяжелой темной деревянной дверью и собралась постучать, но в последний момент не смогла заставить себя это сделать. Она повернулась, так и не войдя в монастырь, и пошла домой, уверенная, что ее муж будет в ярости, ведь она не сделала того, что уменьшило бы опасность, которой подвергалась их дочь. Но когда она вошла в дом в Сен-Сере, Исер вздохнул с глубоким облегчением. Все время, пока Сары не было дома, он неотвязно думал, что совершил ошибку, согласившись обратить Дениз в христианство. Хотя Исер и не верил в Бога, они с Сарой очень гордились своим еврейством.

В 1949 году Дениз вместе с братом и родителями переехала в Соединенные Штаты. В течение года она ходила в Нью-Йоркский французский лицей, а затем, когда ей было семнадцать, ее приняли на третий курс колледжа Брин-Мар. Окончив Брин-Мар в девятнадцать, она поступила в магистратуру по курсу социологии в Колумбийский университет. Когда мы познакомились в 1955 году, она уже работала над диссертацией по медицинской социологии на соискание степени доктора философии[10] под руководством Роберта Мертона, который внес огромный вклад в развитие современной социологии и был одним из основателей социологии как науки. Диссертация Дениз была посвящена изучению выбора карьеры студентами-медиками и основывалась на данных длительных повторных исследований.

[10] *Доктор философии* (*doctor of philosophy, PhD*) – степень в США и ряде других стран, приблизительно соответствующая российской кандидатской степени. Философия в данном случае понимается очень широко и включает большинство естественных и ряд гуманитарных наук.

3–4. Дениз в день нашей свадьбы в 1956 году. Ей было в ту пору двадцать три, и она была аспиранткой-социологом в Колумбийском университете. (*Фото из архива Эрика Канделя.*)

Наша с Дениз свадьба состоялась через несколько дней после того, как я окончил медицинскую школу, в июне 1956 года (рис. 3–4). После непродолжительного медового месяца в Тэнглвуде (штат Массачусетс), где я посвятил часть времени подготовке к экзамену национального совета по медицине (о чем Дениз с тех пор регулярно мне напоминает), я начал учиться в интернатуре при больнице Монтефиоре в Нью-Йорке, а Дениз продолжила свою работу над диссертацией в Колумбийском университете.

Дениз понимала, возможно, лучше меня, что моя идея исследовать биологические основы психики смела и оригинальна, и убеждала работать в этом направлении. Но я сомневался. Ни у меня, ни у нее не было денежных ресурсов, и я считал, что мне необходимо завести частную практику, чтобы содержать семью. Но Дениз и слышать не желала о деньгах. Деньги не имеют значения, твердо говорила она. Ее отец, а он умер за год до нашего знакомства, советовал ей выйти замуж за бедного интеллектуала, потому что такой человек больше всего на свете будет ценить образование, а в науке будет ставить себе интересные цели. Дениз считала, что последовала этому совету (она определенно вышла замуж за бедного), и всегда поддерживала меня, когда мне нужно было принимать смелые решения, чтобы делать по#настоящему новые и оригинальные вещи.

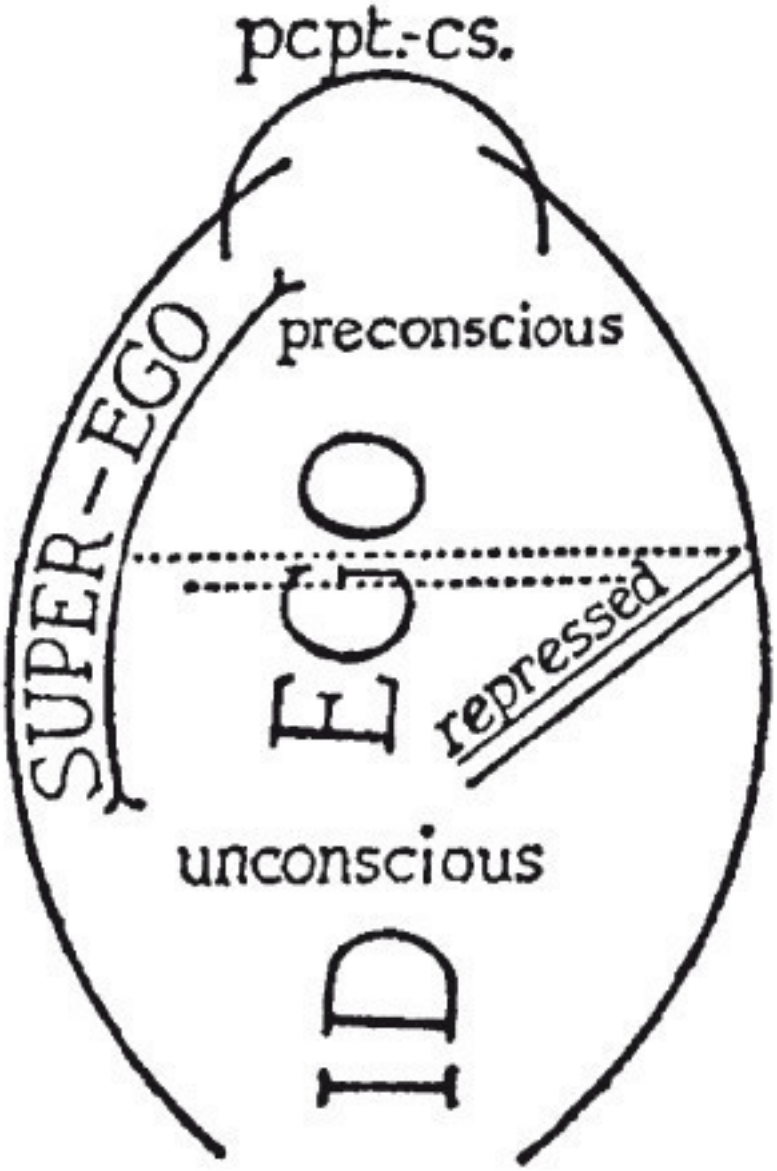
Часть вторая

Биология есть поистине царство неограниченных возможностей, мы можем ждать от нее самых потрясающих открытий и не можем предугадать, какие ответы она даст нам на наши вопросы несколькими десятилетиями позже. Возможно, что как раз такие, что все наше искусное здание гипотез распадется.
Зигмунд Фрейд "По ту сторону принципа удовольствия" (1920) (пер. Я. Коган)

4. По одной клетке

Осенью 1955 года я пришел в лабораторию Гарри Грундфеста в Колумбийском университете на трехмесячную стажировку по выбору в надежде узнать что#нибудь о высшей нервной деятельности. Я не ожидал, что с этого начнется моя новая карьера, мой новый образ жизни. Но уже первый разговор с Грундфестом дал мне повод задуматься. В ходе разговора я рассказал ему о своем увлечении психоанализом и надежде узнать что#нибудь о том, где именно в мозге могут находиться "я", "оно" и "сверх-я".

Желание найти эти психические структуры пробудила во мне схема, опубликованная Фрейдом в его обобщающем труде по новой структурной теории психики, над которой он работал с 1923 по 1933 год (рис. 4–1). В этой новой теории сохранялось предложенное ранее разделение на сознательные и бессознательные психические функции, но к ним добавлялись три взаимодействующие психические структуры: "я" (*ego*), "оно" (*id*) и "сверх-я" (*superego*). Фрейд видел в сознании лишь поверхность аппарата психики. Как доказывал Фрейд, многие из наших психических функций погружены глубоко под этой поверхностью, точно так же, как часть айсберга погружена под поверхность океана. Чем глубже располагается та или иная психическая функция, тем менее она доступна для сознания. Психоанализ предлагал способ докапываться до глубоко зарытых слоев психики – предсознательного и бессознательного компонентов личности.



EGO = "я"
ID = "оно"
SUPEREGO = "сверх-я"
pcpt.-cs. = воспр. созн.
preconscious = предсознательное
unconscious = бессознательное
repressed = подавленное

4–1. Структурная теория Фрейда. Фрейд выдвинул теорию трех главных психических структур: "я", "оно" и "сверх-я". "Я" включает в себя сознательный компонент – воспринимающее сознание (*воспр. созн.*), которое получает сенсорную информацию и напрямую контактирует с окружающим миром, а также предсознательный компонент – сторону бессознательной обработки информации, имеющую открытый доступ к сознанию. Бессознательные компоненты "я" путем подавления и других защитных механизмов сдерживают инстинктив-

ные влечения “я” – генератор сексуальных и агрессивных инстинктов. “Я” также реагирует на давление “сверх-я” – во многом бессознательного носителя моральных ценностей. Пунктирными линиями обозначены границы раздела между доступными сознанию и совершенно бессознательными процессами. (*Из книги “Новый вводный курс лекций по психоанализу”, 1933.*)

Принципиальное отличие новой модели Фрейда состояло как раз из этих трех взаимодействующих психических структур. Фрейд не определял “я”, “оно” и “сверх-я” как сознательное либо бессознательное, а различия между ними видел в когнитивном стиле, целях и функциях.

Согласно структурной теории Фрейда, “я” (автобиографическая составляющая личности) есть исполнительный орган, включающий как сознательный, так и бессознательный компонент. Сознательный напрямую контактирует с внешним миром через сенсорный аппарат зрения, слуха и осязания и отвечает за восприятие, мышление, планирование действий и ощущение удовольствия и боли. Хартманн, Крис и Левенштейн подчеркивали в своих работах, что бесконфликтный компонент “я” функционирует по законам логики и руководствуется принципом реальности. Бессознательный компонент “я” отвечает за защитные психологические механизмы (подавление, отрицание, сублимацию), посредством которых “я” подавляет, направляет и перенаправляет как сексуальные, так и агрессивные инстинктивные влечения, которые порождает “оно” – второй психический орган.

“Оно” (*id* – термин, заимствованный Фрейдом у Фридриха Ницше) совершенно бессознательно. “Оно” управляется не логикой или реальностью, но гедонистическим принципом поиска удовольствий и избегания боли. По Фрейду, “Оно” представляет примитивную младенческую психику и является единственной психической структурой новорожденного. “сверх-я”, третья управляющая структура, есть бессознательный орган морали – воплощение наших устремлений.

Хотя эта схема была предложена Фрейдом не в качестве нейроанатомической карты человеческой психики, она заставила меня задуматься о том, где именно в замысловатых складках нашего мозга могут обитать эти психические органы, подобно тому как ранее она помогла задуматься Кьюби и Остоу. Как я уже упоминал, эти два психоаналитика, живо интересовавшиеся биологией, советовали мне пойти поучиться у Грундфеста.

Грундфест терпеливо слушал, пока я излагал ему свои грандиозные планы. Иной биолог мог бы отправить меня восвояси, не зная, что делать с таким наивным и заблудшим студентом-медиком. Но только не Грундфест. Он объяснил, что моя надежда разобраться в биологических основах Фрейдовой структурной теории психики находится далеко за пределами досягаемости для современной нейробиологии. Вместо этого, сказал он, чтобы разобраться в мозге, нужно изучать его по одной клетке.

По одной клетке! Вначале эти слова меня обескуражили. Как можно исследовать психоаналитические вопросы, связанные с бессознательной мотивацией поведения или с действиями нашей сознательной жизни, изучая мозг на уровне отдельных нервных клеток? Но по ходу нашего разговора я вдруг вспомнил, что в 1887 году, когда карьера самого Фрейда еще только начиналась, он тоже пытался решать загадки психической жизни, изучая мозг по одной нервной клетке. Фрейд начинал как анатом, исследуя нервные клетки, и предвосхитил грядущий прорыв, связанный с концепцией, которую впоследствии назвали нейронной доктриной. Согласно ей, нервные клетки представляют собой элементарные структурные и функциональные единицы мозга. Лишь позже, когда Фрейд начал лечить психически больных пациентов в Вене, он совершил свои грандиозные открытия в области бессознательных психических процессов.

Мне показалось примечательным, что, по иронии судьбы, меня убеждали пойти как раз по обратному пути: перейти от интереса к дедуктивной структурной теории психики к индуктивному исследованию сигнальных элементов нервной системы – сложнейшего внутреннего мира нервных клеток. Гарри Грундфест предлагал провести меня в этот новый мир.

4–2. Гарри Грундфест (1904–1983), профессор неврологии в Колумбийском университете, познакомил меня с нейробиологией, разрешив шесть месяцев работать в его лаборатории в 1955–1956 учебном году, в начале моего последнего курса в медицинской школе. (*Фото из архива Эрика Канделя.*)

Я стремился работать именно с Грундфестом, потому что он был самым продвинутым и самым интересным в интеллектуальном плане нейрофизиологом в Нью-Йорке – более того, одним из лучших в стране. В пятьдесят один он был на пике своих солидных умственных способностей (рис. 4–2).

Грундфест получил степень доктора философии по зоологии и физиологии в Колумбийском университете в 1930 году и остался работать там постдоком[11]. В 1935#м он перешел в Рокфеллеровский институт (теперь это Рокфеллеровский университет) в лабораторию Герберта Гассера, одного из первых исследователей передачи электрических сигналов в нервных клетках – процесса, лежащего в самой основе работы нервной системы. В то время когда Грундфест пришел в его лабораторию, Гассер достиг наивысшей точки своей карьеры: он был только что назначен президентом Рокфеллеровского института. В 1944 году, когда Грундфест еще продолжал работать в его лаборатории, Гассер получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

К тому времени как Грундфест закончил обучение у Гассера, он совмещал в себе широту биологического кругозора с достойной подготовкой по электротехнике. Кроме того, он неплохо освоил сравнительную биологию нервной системы животных от простых беспозвоночных (раков, омаров, кальмаров и прочих) до млекопитающих. В то время мало кто мог похвастаться подобной подготовкой. В результате в 1945 году Грундфеста снова взяли на работу в его альма-матер на должность заведующего новой лабораторией нейрофизиологии в Неврологическом институте при Колледже терапевтов и хирургов. Вскоре после этого началось его плодотворное сотрудничество с известным биохимиком Давидом Нахмансоном. Они вместе исследовали биохимические изменения, связанные с передачей сигналов

[11] *Пятая поправка* к Конституции США, принятая в 1791 году, гарантирует право на надлежащее судебное разбирательство и запрещает принуждать к свидетельским показаниям против самого себя.

по нервным клеткам. Казалось бы, будущее Грундфеста было определено, но вскоре у него начались серьезные неприятности.

В 1953 году Грундфеста вызвали для дачи показаний перед сенатской постоянной подкомиссией по расследованиям, возглавляемой сенатором Джозефом Маккарти. Во время Второй мировой войны Грундфест, не скрывавший своих радикальных взглядов, изучал заживление ран и регенерацию нервов в подразделении климатических исследований лабораторий войск связи в Форт-Монмуте (штат Нью-Джерси). Маккарти полагал, что Грундфест был сторонником коммунистов и что он или его друзья во время войны передавали Советскому Союзу секретные данные. В ходе слушаний подкомиссии Маккарти Грундфест свидетельствовал, что он не коммунист. Ссылаясь на свои права, гарантированные Пятой поправкой[1], он отказался от дальнейшего обсуждения своих политических взглядов и взглядов своих коллег.

Маккарти так и не предъявил никаких улик в пользу обвинения. Тем не менее Грундфест на несколько лет лишился финансирования национальных институтов здоровья. Нахмансон, опасаясь за собственное государственное финансирование, перестал пускать Грундфеста в лабораторию и прекратил с ним всякое сотрудничество. Грундфест был вынужден сократить исследовательскую группу до двух человек, и его карьера пострадала бы еще больше, если бы не активная поддержка, оказанная ему научным руководством Колумбийского университета.

Для Грундфеста это уменьшение возможности заниматься исследованиями, пришедшееся на период, оказавшийся высшей точкой его научной карьеры, было настоящей трагедией. Но мне оно парадоксальным образом сыграло на руку. У Грундфеста стало больше свободного времени, и он посвятил ощутимую его часть тому, чтобы научить меня принципам нейробиологии и открыть мне, что этой науке вот-вот предстоит превращение из описательной и бесструктурной в упорядоченную дисциплину, основанную на клеточной биологии. Я почти ничего не знал о современной клеточной биологии, но новое направление в исследовании мозга, намеченное Грундфестом, увлекло меня и пробудило мое воображение. Тайны работы мозга начинали открываться благодаря изучению его по одной клетке.

После того как я изготовил пластилиновую модель мозга на курсе нейроанатомии, я воспринимал мозг как некий особый орган, работающий принципиально иначе, нежели другие части тела. Это, конечно, так и есть: почки или печень не могут получать и обрабатывать информацию о раздражителях, с которыми сталкиваются наши органы чувств, а их клетки не могут хранить и вызывать воспоминания или обеспечивать работу сознательной мысли. Однако Грундфест напомнил мне, что у всех клеток есть ряд общих свойств. В 1839 году анатомы Маттиас Якоб Шлейден и Теодор Шванн сформулировали клеточную теорию, согласно которой все живые существа, от простейших микроорганизмов и растений до сложно устроенных людей, состоят из одних и тех же элементарных единиц, называемых клетками. Хотя клетки разных животных и растений отличаются друг от друга важными деталями, все они обладают рядом общих свойств.

Как объяснял Грундфест, каждая клетка в многоклеточном организме окружена жироподобной мембраной, отделяющей ее от других и от внеклеточной жидкости, в которой плавают все клетки. Наружная клеточная мембрана проницаема для определенных веществ, благодаря чему между внутренней средой клетки и окружающей жидкостью может происходить обмен питательными веществами и газами. Внутри клетки расположено ядро, имеющее собственную мембрану и окруженное внутриклеточной жидкостью, которую называют цитоплазмой. Ядро содержит хромосомы – длинные тонкие структуры, состоящие из ДНК, в которых по порядку, как бусины, расположены гены. Они не только управляют способностью клетки самовоспроизводиться, но и говорят ей, какие белки синтезировать, чтобы

клетка могла функционировать. Сам же аппарат синтеза белков находится в цитоплазме. В свете этих общих свойств клетка и является элементарной единицей всего живого, структурной и функциональной основой всех тканей и органов у всех растений и животных.

Помимо общих биологических свойств клетки имеют свои специальные функции. Например, клетки печени участвуют в переваривании пищи, а клетки мозга могут определенными способами обрабатывать информацию и обмениваться ею друг с другом. Эти взаимодействия позволяют нервным клеткам мозга образовывать замкнутые цепи, которые передают и преобразуют информацию. Грундфест подчеркивал, что такие специальные функции делают клетку печени подходящей именно для участия в обмене веществ, а клетки мозга – для обработки информации.

Со всеми этими сведениями я уже сталкивался на курсах основ естественных наук в Нью-Йоркском университете и читая заданные разделы учебников, но ничто из этого не возбудило моего любопытства и вообще не имело для меня большого смысла до тех пор, пока Грундфест не изложил все это в определенном контексте. Нервная клетка – не просто изумительный биологический объект. Это ключ к пониманию механизма работы мозга. По мере того как я начал усваивать уроки Грундфеста, я стал понимать и его взгляд на психоанализ. Я осознал: чтобы разобраться в биологической природе работы “я”, нужно вначале понять принцип работы нервной клетки.

Идея Грундфеста, что прежде всего нужно разобраться в механизме работы нервных клеток, легла в основу моих последующих исследований обучения и памяти, а его представление о необходимости клеточного подхода в изучении работы мозга сыграло ключевую роль в возникновении новой науки о психике. Оглядываясь назад и принимая во внимание, что человеческий мозг состоит примерно из ста миллиардов нервных клеток, нельзя не удивляться, как много удалось узнать за последние полвека о психической деятельности, изучая отдельные клетки мозга. Клеточные исследования позволили впервые что#то понять о биологических основах восприятия, произвольных движений, внимания, обучения и работы памяти.

В основании биологии нервных клеток лежат три принципа, возникших преимущественно в первой половине xx века и до сих пор составляющих основу наших представлений о функциональной организации мозга. *Нейронная доктрина* (клеточная теория в ее приложении к мозгу) гласит, что нервная клетка (нейрон) является основным структурным элементом и сигнальной единицей мозга. *Ионная гипотеза* касается передачи информации внутри нервной клетки. Она описывает механизмы, с помощью которых отдельная нервная клетка генерирует электрические сигналы, называемые потенциалами действия, которые могут распространяться на немалое расстояние в пределах данной клетки. *Химическая теория синаптической передачи* касается передачи информации между нервными клетками. Она описывает, как одна нервная клетка воздействует на другую, выделяя химическое сигнальное вещество, называемое нейромедиатором, а вторая клетка узнает это вещество и реагирует на него благодаря особым молекулам на своей наружной мембране, называемым рецепторами. Эти три концепции касаются отдельных нервных клеток.

4–3. Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1852–1934), великий испанский анатом, сформулировал нейронную доктрину – основу всех современных представлений о нервной системе. (*Фото любезно предоставил Институт Кахаля.*)

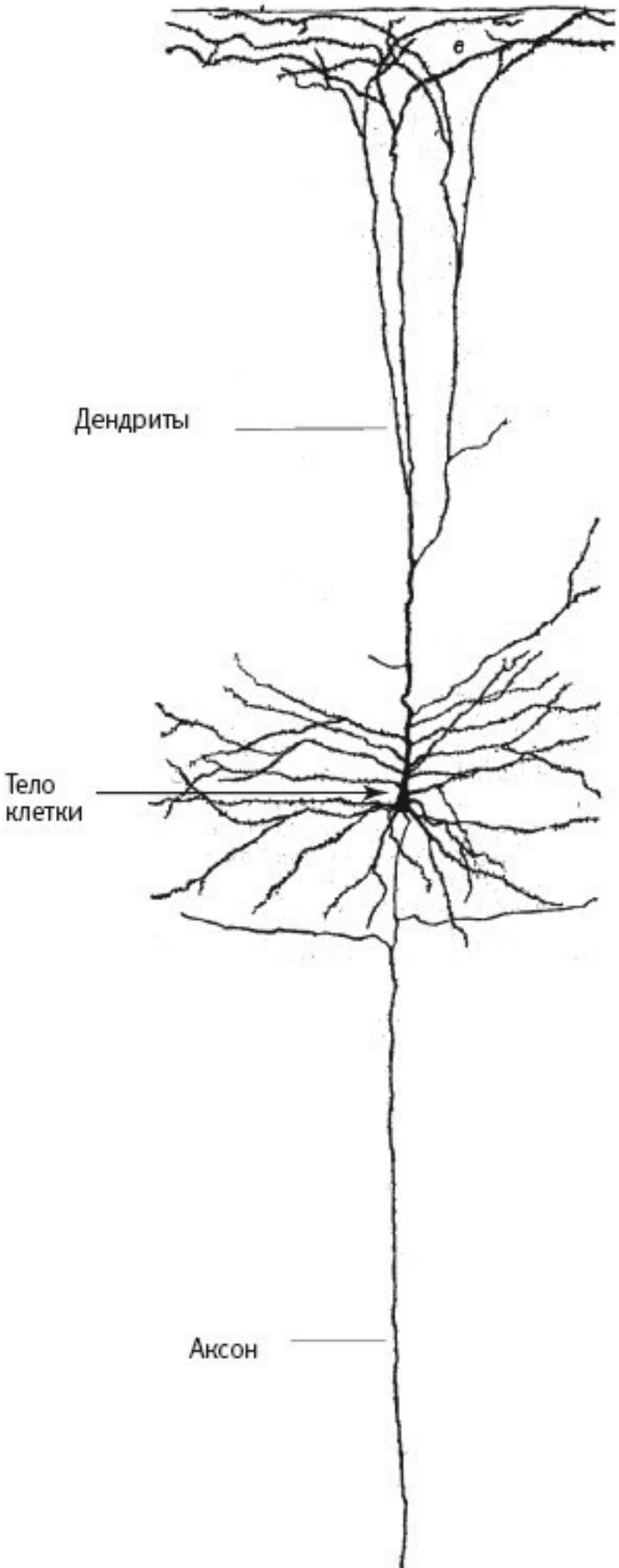
Человека, который сделал возможным изучение психической жизни на клеточном уровне, звали Сантьяго Рамон-и-Кахаль, он был нейроанатомом и современником Фрейда (рис. 4–3). Кахаль заложил основу современной науки о нервной системе и был, возможно, величайшим нейробиологом всех времен. Поначалу он хотел стать живописцем. Чтобы познакомиться со строением человеческого тела, он изучал анатомию под руководством своего отца, который был хирургом и учил его, используя кости, выкопанные на древнем кладбище. Эти останки так заинтересовали Кахаля, что он отошел от живописи и занялся анатомией, а затем начал заниматься анатомией мозга. К изучению мозга его направил тот же интерес, что привел в эту область Фрейда и, много лет спустя, меня. Кахаль хотел разработать “рациональную психологию”. Он считал, что первым шагом должно стать получение подробных сведений о клеточной анатомии мозга.

Работая над этим, он проявил свою поразительную способность разбираться в свойствах живых нервных клеток, изучая неподвижные изображения мертвых. Эта сила воображения, возможно, происходившая из его художественных наклонностей, позволяла ему улавливать и описывать яркими словами и прекрасными рисунками суть каждого наблюдения. Известный британский физиолог Чарльз Шеррингтон впоследствии утверждал, что, “описывая видимое под микроскопом, он привычно говорил об этом так, будто это была живая картина. Наверное, это было тем поразительнее оттого, что <…> все его препараты были мертвы и зафиксированы”. Далее Шеррингтон отмечал: “Насыщенные антропоморфные описания того, что Кахаль видел в окрашенных зафиксированных срезах мозга, поначалу были слишком удивительны, чтобы их принять. Он обсуждал микроскопическую картину так, будто она была живой и населенной существами, способными чувствовать, и делать, и надеяться, и пытаться как мы. <…> Нервная клетка своим растущим волокном ‘шарила в поисках другой’! <…> Слушая его, я задавался вопросом, в какой степени эта способность видеть предметы антропоморфно могла способствовать его успеху как исследователя. Я никогда не встречал другого человека, у которого она была бы так заметна”.

До того как в этой области начал работать Кахаль, форма нервных клеток приводила биологов в полное замешательство. В отличие от большинства других клеток нашего тела,

имеющих незамысловатую форму, нервные клетки обладают формой весьма разнообразной и неправильной и окружены множеством чрезвычайно тонких выростов, называвшихся в то время отростками. Биологи не знали, входят ли эти отростки в состав нервных клеток, потому что не было возможности проследить их путь до основания на теле одной клетки или до окончания на теле другой и поэтому нельзя было понять, откуда они растут и куда ведут. А из#за того что эти отростки необычайно тонкие (примерно в сто раз тоньше человеческого волоса), никто не мог увидеть и исследовать их наружную мембрану. Так что многие биологи, в том числе великий итальянский анатом Камилло Гольджи, делали вывод, что у этих отростков нет наружной мембраны. Кроме того, поскольку отростки, окружающие одну нервную клетку, близко подходят к отросткам, окружающим другие, Гольджи казалось, что цитоплазма внутри этих отростков свободно перетекает из одного в другой, создавая непрерывную нервную сеть, во многом похожую на паутину, по которой сигналы могут передаваться сразу во всех направлениях. В связи с этим, как доказывал Гольджи, элементарной единицей нервной системы должна быть свободно передающая информацию нервная сеть, а не отдельная нервная клетка.

В девяностых годах xix века Кахаль попытался найти лучший способ сделать нервную клетку видимой во всей ее полноте. У него получилось, когда он совместил две разные стратегии исследования. Первая состояла в том, чтобы исследовать мозг новорожденных, а не взрослых животных. У новорожденных сравнительно мало нервных клеток, упакованы они не столь плотно, а их отростки короче. Это позволило Кахалю увидеть отдельные деревья в клеточном лесу мозга. Вторая стратегия состояла в том, чтобы использовать специальный метод серебряного окрашивания, разработанный Гольджи. Этот метод весьма капризен и позволяет маркировать довольно случайным образом какие#нибудь отдельные нейроны – меньше 1 % от их общего числа. Но при этом каждый помеченный нейрон помечается целиком, позволяя исследователю увидеть его тело и все отростки. Случайным образом помеченная клетка в мозге новорожденного выделялась на фоне леса других, не помеченных, клеток, как горящая новогодняя елка. В связи с этим Кахаль писал: “Поскольку вполне зрелый лес оказывается непроницаемым и неописуемым, почему бы не обратиться к изучению молодого леса, так сказать, в колыбели его развития? <…> Если правильно подобрать стадию развития <…> нервные клетки, которые остаются сравнительно маленькими, целиком выделяются на каждом срезе, и их концевые ответвления <…> отображаются предельно отчетливо”.


Дендриты
Тело клетки
Аксон

4–4. Один из нейронов гиппокампа, как его изобразил Кахаль. Кахаль понял, что и дендриты (вверху), и аксон (внизу) одной клетки растут от ее тела и что информация поступает от дендритов к аксону. Рисунок Кахаля, с изменениями. (*По рис. 23 из книги: Cajal on the Cerebral Cortex, eds. Javier DeFelipe, Edward Jones, transl. Javier DeFelipe, Edward Jones, © 1988 Oxford University Press, Inc. Воспроизводится с разрешения издательства Oxford University Press, Inc.*)

Эти две стратегии позволили выяснить, что, несмотря на свою сложную форму, нервные клетки представляют собой отдельные упорядоченные единицы (рис. 4–4). Окружающие нервную клетку отростки не отдельны от нее, а растут непосредственно из ее тела. Кроме того, вся нервная клетка, включая отростки, полностью окружена наружной мембраной, как это и должно быть согласно клеточной теории. Далее Кахаль выделил два типа отростков – аксоны и дендриты. Он назвал нервные клетки, состоящие из этих трех компонентов, нейронами. Все нервные клетки мозга, за редким исключением, состоят из тела клетки с ядром внутри, единственного аксона и многих тонких дендритов.

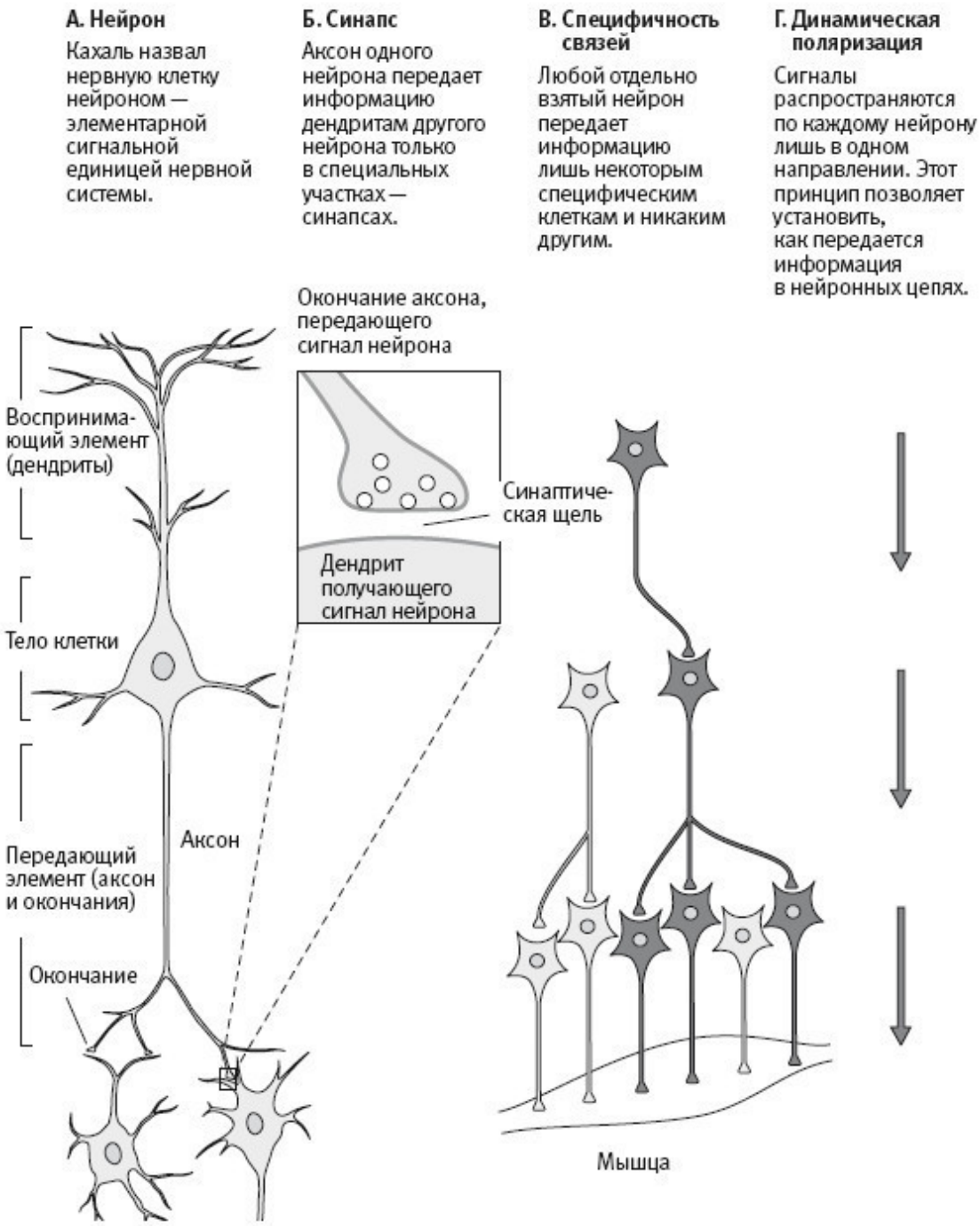
Аксон типичного нейрона растет от одного из концов тела клетки и может достигать нескольких футов в длину. При этом аксон нередко разделяется на две или больше ветвей, и каждая из них завершается многими окончаниями. На противоположном конце тела клетки обычно растет несколько дендритов (рис. 4–5А). Они обильно ветвятся, образуя древовидную структуру, отходящую от тела клетки и занимающую обширную область. Некоторые нейроны человеческого мозга имеют по сорок ветвей дендритов.

В девяностых годах xix века Кахаль свел воедино все эти наблюдения и сформулировал четыре принципа, составляющих нейронную доктрину – теорию организации нервной системы, которая с тех пор составляет основу всех наших представлений о мозге.

Первый принцип состоит в том, что нейрон является основным структурным и функциональным элементом мозга, то есть мозг состоит из нейронов, которые служат его элементарными сигнальными единицами. Кроме того, Кахаль предположил, что аксоны и дендриты играют разные роли в процессе передачи сигналов. Дендриты служат для получения сигналов от других нейронов, а аксон – для передачи сигналов другим нейронам.

Во-вторых, Кахаль предположил, что окончания аксонов одного нейрона передают информацию дендритам другого нейрона только в специальных участках, которые Шеррингтон впоследствии назвал синапсами (от греческого *synaptein,* что означает “соединять”). Также Кахаль предположил, что в каждом синапсе, соединяющем два нейрона, имеется небольшой промежуток (теперь называемый синаптической щелью), где окончание аксона одного нейрона (называемое пресинаптическим окончанием) подходит вплотную к дендриту другого, но немного не достигает его (рис. 4–5Б). В итоге информация передается через синапс подобно словам, сказанным на ухо, и ее передача включает три основных компонента: передающее сигнал пресинаптическое окончание аксона (соответствующее в нашей аналогии губам), синаптическая щель (промежуток между губами и ухом) и получающий сигнал постсинаптический участок дендрита (ухо).

В-третьих, Кахаль сформулировал принцип специфичности связей, согласно которому нейроны не связываются с другими нейронами без разбора, но каждый формирует синапсы и взаимодействует лишь с определенными нейронами и ни с какими другими (рис. 4–5В). Он использовал этот принцип, чтобы показать, что связи нейронов друг с другом образуют определенные последовательности, которые он назвал нейронными цепями. Сигналы распространяются по этим цепям определенным предсказуемым образом.



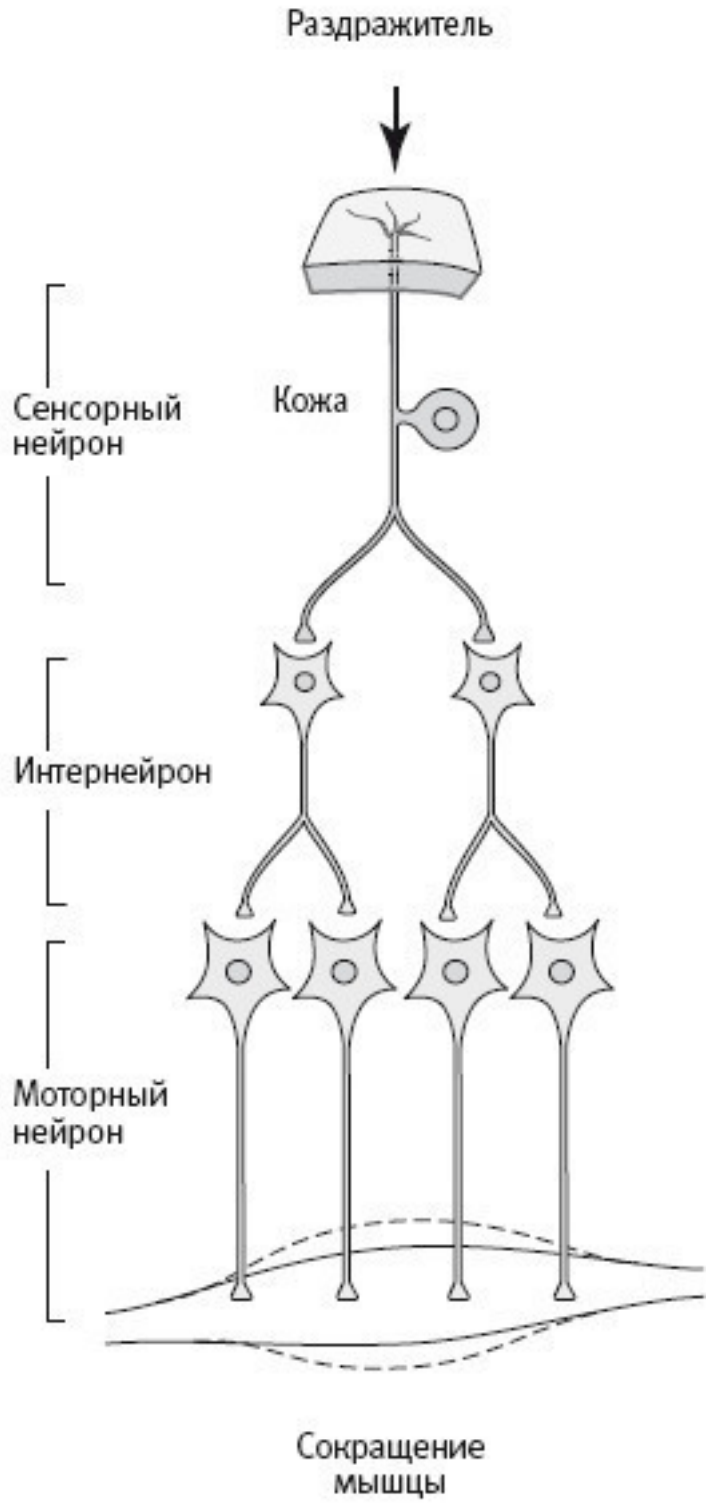
4–5. Четыре принципа организации нервной системы, открытые Кахалем.

Отдельный нейрон посредством многих пресинаптических окончаний обычно связан с дендритами многих клеток-мишеней. Тем самым единственный нейрон может широко распространять получаемую им информацию по различным нейронам-мишеням, иногда находящимся в разных участках мозга. Напротив, дендриты нейрона-мишени могут получать информацию от пресинаптических окончаний нескольких других нейронов. Тем самым в нейроне может суммироваться информация, поступающая от нескольких нейронов, даже расположенных в разных частях мозга.

Исходя из своего анализа связей, наблюдаемых в мозге, Кахаль представил мозг как орган, состоящий из специфических предсказуемых нейронных цепей, в то время как пре-

обладавшая точка зрения предполагала, что мозг есть рассеянная нервная сеть, в которой повсюду происходят взаимодействия всех мыслимых типов.

Проявив поразительную проницательность, Кахаль пришел к своему четвертому принципу – динамической поляризации. Согласно этому принципу, сигналы движутся по нейронным цепям лишь в одном направлении (рис. 4–5Г). Информация передается от дендритов каждой клетки к ее телу, оттуда по аксону к пресинаптическому окончанию, а затем через синаптическую щель к дендритам следующей клетки, и так далее. Этот принцип однонаправленной передачи сигналов был необычайно важен, потому что позволял связать все компоненты нервной клетки с единственной ее функцией – сигнальной.



4–6. Три основных класса нейронов, выделенных Кахалем. Каждый класс нейронов головного и спинного мозга выполняет особую функцию. Сенсорные нейроны реагируют на внешние раздражители. Мотонейроны управляют работой клеток мышц или желез. Интернейроны служат ретрансляторами, соединяя сенсорные нейроны с мотонейронами.

Принципы специфичности связей и однонаправленной передачи сигналов положили начало последовательному своду правил, который с тех пор всегда используется для картирования путей передачи сигналов между нейронами. Попытки намечать контуры нейронных

цепей стали еще успешнее, когда Кахаль показал, что такие цепи в головном и спинном мозге содержат три основных класса нейронов, каждый из которых выполняет свою особую функцию. *Чувствительные* (*сенсорные*) *нейроны,* расположенные в коже и в различных органах чувств, реагируют на специфические внешние раздражители – давление (осязание), свет (зрение), звуковые волны (слух) или определенные химические вещества (обоняние и вкус) – и посылают получаемую информацию в мозг. *Двигательные нейроны* (*мотонейроны*) посылают свои аксоны из мозгового ствола и спинного мозга к клеткам-эффекторам, таким как клетки мышц и желез, и управляют работой этих клеток. *Промежуточные нейроны* (*интернейроны*), самый многочисленный класс нейронов в мозге, служат ретрансляторами, соединяющими сенсорные нейроны с мотонейронами. Это открытие позволило Кахалю отслеживать пути передачи информации от сенсорных нейронов кожи в спинной мозг и оттуда к интернейронам и мотонейронам, по которым сигнал доходит до мышечных клеток, вызывая их сокращение (рис. 4–6). Кахаль сделал эти открытия, изучая нервную систему крыс, обезьян и людей.

Со временем стало ясно, что эти классы нейронов отличаются друг от друга на биохимическом уровне и каждый из них поражается при определенных болезнях. К примеру, сенсорные нейроны кожи и суставов могут портиться на одной из поздних стадий развития сифилиса, болезнь Паркинсона сказывается на определенном типе интернейронов, а мотонейроны избирательно разрушаются при боковом амиотрофическом склерозе и полиомиелите. Более того, некоторые болезни столь избирательны, что поражают лишь определенные части нейрона: рассеянный склероз – некоторые классы аксонов, болезнь Гоше – тело клеток, синдром ломкой *X*-хромосомы – дендриты, а ботулотоксин – синапсы.

За эти революционные открытия в 1906 году Кахаль получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине вместе с Гольджи, чей метод серебряного окрашивания сделал достижения Кахаля возможными.

Один из странных поворотов истории науки состоит в том, что Гольджи, чьи технические разработки подготовили почву для блистательных открытий Кахаля, продолжал ожесточенно спорить с трактовками Кахаля и не согласился ни с одним из положений нейронной доктрины. Более того, читая нобелевскую лекцию, Гольджи воспользовался случаем, чтобы возобновить свои нападки на нейронную доктрину. Он еще раз заявил, что всегда был противником нейронной доктрины и что “эта доктрина, по общему мнению, выходит из моды”. Затем он сказал: “На мой взгляд, мы не можем сделать никакого определенного вывода из всего сказанного <…> за или против нейронной доктрины”. После этого он стал доказывать, что принцип динамической поляризации ошибочен и что ошибкой было бы думать, что элементы нейронных цепей, соединенные определенным образом, или разные нейронные цепи имеют разные поведенческие функции.

До самой смерти в 1926 году Гольджи продолжал думать, и совершенно напрасно, что нервные клетки не являются самодостаточными единицами. Кахаль, в свою очередь, писал о разделенной с Гольджи Нобелевской премии: “Что за злая ирония судьбы – сдвоить, как сиамских близнецов, сросшихся плечами, научных противников, столь различных характерами”.

Этот спор отражает ряд интересных фактов из области социологии науки, с которыми мне не раз доводилось сталкиваться в ходе моей собственной научной карьеры. Начать с того, что есть такие ученые, как Гольджи, очень сильные в техническом плане, но не всегда проявляющие глубокую проницательность в тех биологических вопросах, которыми они занимаются. Во-вторых, даже лучшие ученые могут не соглашаться друг с другом, особенно на ранних этапах совершаемого открытия.

Иногда бывает, что споры, которые начинаются как научные диспуты, принимают личный, почти мстительный характер, как это случилось с Гольджи. Такие споры показывают,

что качества, свойственные конкуренции, – амбициозность, гордыня и мстительность – проявляются среди ученых, очевидно, не реже, чем великодушие и щедрость. Причины этого понятны. Цель науки состоит в открытии новых истин, а открытие предполагает приоритет, первенство в его свершении. Как писал в автобиографии Алан Ходжкин, сформулировавший ионную гипотезу, “если бы единственным мотивом тех, кто занимается фундаментальной наукой, было любопытство, они бы радовались, когда кто#то другой решает проблему, над которой они работают. Но обычно они реагируют совсем иначе!”. Признание коллег и почет достаются только тем, кто сумел внести оригинальный вклад в общую копилку знаний. Именно поэтому Дарвин отмечал, что его любви к естествознанию “немало помогало и честолюбивое стремление снискать уважение других естествоисптыталей”.

И наконец, серьезные споры нередко возникают тогда, когда доступные методы не позволяют дать однозначный ответ на ключевой вопрос. Интуитивные выводы Кахаля были окончательно подтверждены только в 1955 году, когда Сэнфорд Пейли и Джордж Паладе, работавшие в Рокфеллеровском институте, продемонстрировали с помощью электронной микроскопии, что в подавляющем большинстве случаев пресинаптическое окончание одной клетки отделено от дендрита другой небольшим промежутком – синаптической щелью. Полученные ими изображения, кроме того, показали, что синапс асимметричен и система, выделяющая химические медиаторы, открытые много позже, имеется лишь в пресинаптической клетке. Этим объясняется, почему информация передается по нейронным цепям лишь в одну сторону.

Физиологи быстро поняли важность открытий Кахаля. Чарльз Шеррингтон (рис. 4–7) стал одним из главных сторонников Кахаля и в 1894 году пригласил его в Англию, чтобы тот прочитал Крунианскую лекцию в Лондонском королевском обществе, а это один из самых высоких знаков признания, которых биолог может удостоиться в Великобритании.

В 1949 году Шеррингтон писал в своих воспоминаниях о Кахале: “Будет ли преувеличением сказать о нем, что он величайший в истории анатом нервной системы? Этот предмет долго был в числе излюбленных у ряда лучших ученых, и до Кахаля были открытия – открытия, которые нередко ставили врачей в еще больший тупик, заводя в новые и не указывая выхода. Кахаль же даже новичку дал возможность с ходу увидеть направление, которое принимает нервный ток в живой клетке и даже в целой цепочке нервных клеток. Он одним махом разрешил великий вопрос о направлении нервных токов в их движении по головному и спинному мозгу. Он показал, к примеру, что каждый нервный путь всегда представляет собой дорогу с односторонним движением и что направление этого движения остается неизменным во всякое время”.

4–7. Чарльз Шеррингтон (1857–1952) изучал нейробиологические основы рефлекторного поведения. Он открыл, что сигналы, поступающие от других нейронов, могут как тормозить, так и возбуждать другие нейроны и что суммарное действие этих сигналов определяет характер процессов, происходящих в нервной системе. (*Фотография из книги: The Integrative Action of the Nervous System, Cambridge University Press, 1947.*)

В собственной, весьма влиятельной, книге “Интегративная деятельность нервной системы” Шеррингтон отталкивался от открытий Кахаля, касающихся строения нервных клеток, и сумел успешно связать строение с физиологией и поведением.

Он добился этого, исследуя спинной мозг кошек. Спинной мозг получает и обрабатывает сенсорную информацию, поступающую от кожи, суставов и мышц конечностей и туловища. В нем находится значительная часть базового нейронного аппарата, управляющего движениями конечностей и туловища, в том числе теми, что задействованы в ходьбе и беге. Стремясь разобраться в простых нейронных цепях, Шеррингтон изучал две формы рефлекторного поведения – кошачий аналог человеческого коленного рефлекса и сгибательный рефлекс при отдергивании лапы в ответ на неприятный раздражитель. Такие врожденные рефлексы не требуют обучения. Кроме того, они локализованы в спинном мозге и не предполагают сигналов, посылаемых в головной мозг. Поэтому соответствующий раздражитель – например, постукивание по колену или электрический удар либо прикосновение горячей поверхности к лапе – вызывает их незамедлительно.

В ходе исследований рефлексов Шеррингтон открыл кое#что, чего не мог предполагать Кахаль, изучавший лишь анатомию, а именно: нервная деятельность не ограничивается возбуждением, то есть не всем нейронам пресинаптические окончания служат для того, чтобы возбуждать следующий нейрон в цепочке, передавая информацию дальше. Бывают еще и тормозные нейроны, пресинаптические окончания которых необходимы, чтобы помешать следующей клетке получить информацию. Шеррингтон сделал это открытие, изучая координацию различных рефлексов, которая позволяет им вызывать соответствующие поведенческие реакции. Он обнаружил, что, когда некий участок тела раздражают, чтобы вызвать определенную рефлекторную реакцию, вызывается только эта реакция, а другие, противоположные, рефлексы тормозятся. Поэтому, если ударить по сухожилию коленной чашечки,

это вызовет только один рефлекс – выпрямление ноги, как при пинке. Одновременно этот удар тормозит противоположный рефлекс – сгибание ноги, отведение ее назад.

Затем Шеррингтон исследовал, что происходит во время этого координированного рефлекторного ответа с мотонейронами. Он обнаружил, что, когда он ударял по сухожилию коленной чашечки, мотонейроны, разгибающие конечность (разгибатели), активно возбуждались, а мотонейроны, сгибающие конечность (сгибатели), активно тормозились. Шеррингтон назвал клетки, которые тормозят сгибатели, *тормозными нейронами.* Последующие исследования показали, что почти все тормозные нейроны представляют собой интернейроны.

Шеррингтон сразу оценил важность торможения не толь- ко для координации рефлекторных реакций, но и для обеспечения их постоянства. Животные нередко сталкиваются с раздражителями, которые могут вызвать несовместимые рефлексы. Тормозные нейроны обеспечивают постоянную, предсказуемую, скоординированную реакцию на каждый конкретный раздражитель, при этом тормозя все несовместимые рефлексы, кроме одного. Этот механизм называют сопряженным контролем. Например, разгибание ноги неизменно сопровождается торможением сгибания, а сгибание – торможением разгибания. Путем сопряженного контроля тормозные нейроны осуществляют отбор среди конкурирующих друг с другом рефлексов и гарантируют, что только одна из двух или даже нескольких возможных рефлекторных реакций найдет выражение в поведении.

Итоговые рефлекторные реакции и способность спинного и головного мозга принимать решения определяются интегративной деятельностью отдельных мотонейронов. Каждый мотонейрон суммирует все возбуждающие и тормозные сигналы, поступающие по ведущим к нему аксонам других нейронов, а затем реагирует соответствующим образом в зависимости от рассчитанной суммы. Нейрон посылает мышце-мишени вызывающий ее сокращение сигнал только в том случае, если суммарное возбуждение этого нейрона превышает суммарное торможение на величину, которая оказывается больше некоторого порогового значения.

Шеррингтон видел в сопряженном контроле общий способ координации приоритетов, позволяющий добиться единства цели и действия, без которого невозможно поведение. Исследуя спинной мозг, он открыл принципы нейронной интеграции, которые, судя по всему, лежат в основе принятия решений и в ряде высших когнитивных функций головного мозга. Каждое наше впечатление, каждая мысль, каждое движение есть результат великого множества принципиально сходных нейронных расчетов.

В середине восьмидесятых годов xix века, когда Фрейд прекратил свои фундаментальные исследования нервных клеток и их связей, некоторые детали нейронной доктрины и некоторые ее следствия для физиологии еще требовали выяснения. Однако он оставался в курсе последних достижений нейробиологии и попытался использовать некоторые из новых идей Кахаля о нейронах в своей неопубликованной рукописи “Проект научной психологии”, написанной в конце 1895 года – уже после того, как он стал применять психоанализ для лечения пациентов и раскрыл бессознательное значение снов. Несмотря на то что Фрейд с головой ушел в психоанализ, его предшествующие экспериментальные исследования надолго повлияли на образ его мыслей, а значит, и на развитие психоаналитической мысли в целом. Роберт Холт, психолог, интересующийся психоанализом, сказал об этом так: “Похоже, во многих отношениях Фрейд совершенно переориентировался, превратившись из исследователя-нейроанатома во врача-невролога, экспериментировавшего с психотерапией и наконец ставшего первым психоаналитиком. Однако мы были бы плохими психологами, если бы вообразили, что в этом развитии содержалось больше перемены, чем преемственности. Фрейд не мог просто так выбросить из головы двадцать лет самоотверженного изучения

нервной системы, когда принял решение вместо этого заняться психологией и работать с чисто абстрактной, гипотетической моделью".

Фрейд называл время, проведенное за изучением нервных клеток простых организмов, таких как раки, угри и миноги, "счастливейшими часами моего ученичества". Он оставил эти фундаментальные исследования после того, как познакомился со своей будущей женой Мартой Бернейз и влюбился в нее. В xix веке, чтобы выбрать себе карьеру исследователя, нужно было иметь независимый источник дохода. Учитывая свое неважное финансовое положение, Фрейд решил вместо этого открыть собственную медицинскую практику, которая давала бы ему достаточно для содержания семьи. Возможно, если бы в те времена научная работа позволяла, как сегодня, зарабатывать на жизнь, Фрейд был бы известен теперь как нейроанатом и один из создателей нейронной доктрины, а не как отец психоанализа.

5. О чем говорит нервная клетка

Если бы я стал практикующим психоаналитиком, я провел бы немалую часть своей жизни, выслушивая рассказы пациентов о самих себе: об их снах и воспоминаниях, внутренних конфликтах и желаниях. В этом и состоит интроспективный метод “терапевтической беседы”, впервые примененный Фрейдом, чтобы добраться до более глубоких уровней самопонимания. Поощряя пациентов свободно ассоциировать мысли и воспоминания, психоаналитик помогает им извлечь наружу бессознательные травмы и импульсы, лежащие в основе их сознательных мыслей и поведения.

Работая в лаборатории Грундфеста, я вскоре осознал: чтобы разбираться в механизмах работы мозга, я должен научиться слушать нейроны и интерпретировать электрические сигналы, лежащие в основе любой психической деятельности. Электрические сигналы представляют собой язык психики, способ, с помощью которого структурные единицы мозга – нейроны – переговариваются друг с другом на большом расстоянии. Выслушивание этих разговоров и регистрация активности нейронов были, так сказать, объективной интроспекцией.

Грундфест был одним из ведущих специалистов по биологии передачи сигналов. Я узнал от него, что исследования сигнальной функции нервных клеток прошли четыре отчетливые фазы, начавшись в xviii веке и достигнув достаточно высокого разрешения двести лет спустя – в работах Алана Ходжкина и Эндрю Хаксли. И всегда вопрос о том, как взаимодействуют нервные клетки, привлекал внимание лучших умов в естественных науках.

Начало первой фазы датируется 1791 годом, когда Луиджи Гальвани, итальянский биолог из Болоньи, открыл электрическую активность в организмах животных. Гальвани подвесил лягушачью лапку на медный крючок на своем железном балконе и обнаружил, что взаимодействие двух различных металлов, меди и железа, иногда вызывало подергивание этой лапки, будто она оживала. Гальвани также смог вызвать подергивание лягушачьей лапки, действуя на нее электрическими разрядами. Дальнейшие исследования привели его к предположению, что нервные и мышечные клетки сами способны генерировать электрические токи и что сокращение мышц вызывается электричеством, вырабатываемым мышечными клетками, а не духом или “жизненной силой”, как считали в то время.

Открытие Гальвани, которое позволило вывести нервную деятельность из области жизненных сил и сделать ее предметом естественнонаучных исследований, получило развитие в xix веке в трудах Германа фон Гельмгольца – одного из первых ученых, успешно применивших строгие физические методы для изучения широкого круга нейробиологических проблем. Гельмгольц открыл, что аксоны нервных клеток генерируют электричество не как побочный продукт своей активности, а как средство для получения импульсов, которые позволяют передавать сенсорную информацию об окружающем мире в спинной и головной мозг и посылать сигналы к действию от головного и спинного мозга мышцам.

В ходе своих исследований Гельмгольц провел замечательные экспериментальные измерения, которые в корне изменили существующие представления об электрической активности в организмах животных. В 1859 году ему удалось померить скорость, с которой передаются эти электрические сигналы, и он с удивлением обнаружил, что электричество, передаваемое по живому аксону, принципиально отличается от электрического тока в медном проводе. По металлическому проводу электрический сигнал передается со скоростью, близкой к скорости света (300 000 километров в секунду). Однако, несмотря на эту скорость, сигнал ощутимо ослабевает, преодолевая большие расстояния, потому что передается пассивно. Если бы по аксонам сигналы тоже передавались пассивно, то сигнал, иду-

щий от нервного окончания в коже большого пальца вашей ноги, полностью затухал бы, не достигая вашего мозга. Гельмгольц открыл, что электричество передается по аксонам намного медленнее, чем по проводам, и что в основе этой передачи лежит неизвестный ранее волнообразный механизм, распространяющийся активно со скоростью порядка 30 метров в секунду! Последующие исследования показали, что электрические сигналы, идущие по нервам, в отличие от сигналов, идущих по проводам, не ослабевают по ходу своего движения. Таким образом, в нервах скорость проведения принесена в жертву активной передаче сигнала, которая гарантирует, что сигнал, возникший в большом пальце вашей ноги, достигнет спинного мозга, нисколько не ослабев.

Открытия Гельмгольца поднимали ряд новых вопросов, которые задали работу физиологам на следующие сто лет. На что похожи эти нервные сигналы, впоследствии названные потенциалами действия, и как в них закодирована информация? Как биологические ткани генерируют электрические сигналы? В частности, где идет электрический ток при этих сигналах?

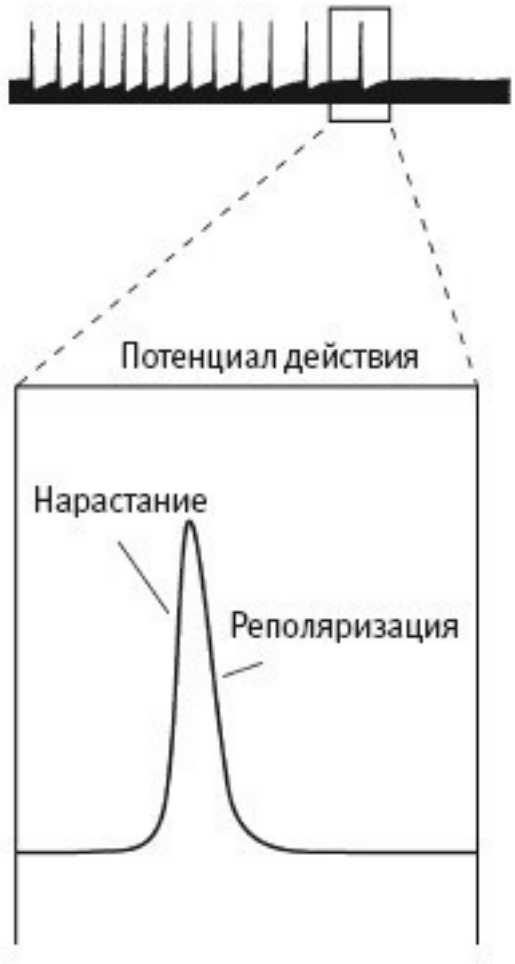
5–1. Эдгар Эдриан (1889–1977) разработал методы регистрации потенциалов действия – электрических сигналов, используемых нервными клетками для передачи информации. (*Фотография из книги: Kandel, Schwartz, Jessell, Essentials of Neural Science and Behavior, McGraw-Hill, 1995.*)

К форме нервных сигналов и их роли в кодировке информации ученые обратились во вторую фазу исследований, которая началась в двадцатых годах xx века с работ Эдгара Дугласа Эдриана (рис. 5–1). Он разработал методы, позволяющие регистрировать и усиливать потенциалы действия, передаваемые по аксонам отдельных сенсорных нейронов кожи, и тем самым впервые сделал элементарные компоненты речи нейронов доступными для понимания. В процессе этих исследований он совершил ряд замечательных от- крытий, касающихся потенциала действия и того, как он обеспечивает возникновение наших ощущений.

Для регистрации потенциалов действия Эдриан использовал отрезок тонкой металлической проволоки. Он помещал один конец отрезка на наружную поверхность аксона сенсорного нейрона кожи, а другой выводил одновременно на чернильный самописец (чтобы видеть форму и последовательность потенциалов действия) и репродуктор (чтобы слы-

шать эти потенциалы). Каждый раз, когда Эдриан прикасался к коже, он отмечал один или несколько потенциалов действия. При возникновении каждого потенциала действия он слышал краткое “бах-бах-бах” в репродукторе и видел краткий электрический импульс на самописце. Потенциал действия сенсорного нейрона длился всего лишь около 0,001 секунды и включал две фазы: быстрого нарастания, достигающего пика, а затем почти столь же быстрой реполяризации, приводившей к исходному положению (рис. 5–2).

И самописец, и репродуктор сообщали Эдриану один и тот же примечательный факт: все потенциалы действия, возникающие в одной и той же нервной клетке, примерно одинаковы. Они имеют приблизительно одинаковую форму и амплитуду независимо от силы, продолжительности и местоположения раздражителя, который их вызывает. Таким образом, потенциал действия представляет собой постоянный сигнал, подчиняющийся принципу “все или ничего”: после достижения порогового значения возникает всегда примерно одинаковый сигнал, не больше и не меньше обычного. Электрического тока, возникающего при потенциале действия, оказывается достаточно для возбуждения соседних участков аксона, благодаря чему потенциал действия распространяется, не пропадая и не слабея, по всей длине аксона со скоростью до 35 метров в секунду – значение, очень близкое к тому, которое получил Гельмгольц!



5–2. Регистрируя потенциалы действия, Эдгар Эдриан установил их характер. Регистрируя электрическую активность отдельных нейронов, Эдриан показал, что потенциал действия подчиняется принципу “все или ничего”: сигнал, возникающий после достижения порогового значения, всегда одинаковый – как по амплитуде, так и по форме.

Открытие принципа “все или ничего” в возникновении потенциала действия заставило Эдриана задаться новыми вопросами. Как сенсорный нейрон сообщает о силе раздражителя – сильное или слабое давление, яркий или тусклый свет? Как он сообщает о продолжительности действия раздражителя? Наконец, как нейроны отличают один тип сенсорной информации от другого – например, как они отличают прикосновение от боли, света, запаха или звука? И как они отличают сенсорную информацию для восприятия от моторной информации для действия?

Вначале Эдриан занялся вопросом силы раздражителя. Здесь его ожидало важнейшее открытие: он установил, что эта сила определяется частотой, с которой испускаются потенциалы действия. Слабый раздражитель, например легкое прикосновение к руке, приводит к испусканию всего двух-трех потенциалов действия в секунду, в то время как сильное давление, как при щипке или ударе по локтю, может вызвать очередь из сотни потенциалов действия в секунду. При этом продолжительность ощущения определяется продолжительностью возникновения потенциалов действия.

Затем он исследовал, каким образом нейроны передают информацию. Используют ли они разные электрические коды, сообщая мозгу, что несут информацию о разных раздражителях, таких как боль, свет или звук? Оказалось, что нет. Между потенциалами действия, генерируемыми нейронами из различных сенсорных систем, было очень мало разницы. Таким образом, характер и природа ощущения (например, зрительная или тактильная) не зависят от различий в потенциалах действия.

В чем же тогда состоит разница в информации, передаваемой нейронами? Коротко говоря, в анатомии. Открытие Эдриана ясно подтверждало принцип специфичности связей Кахаля: оказалось, что природа передаваемой информации зависит от типа возбуждаемых нервных волокон и специфических систем мозга, с которыми эти волокна связаны. Ощущения каждого типа передаются по специфическим проводящим путям, и разновидность ретранслируемой нейроном информации зависит от пути, в состав которого входит этот нейрон. В сенсорном проводящем пути информация передается от первого сенсорного нейрона (рецептора, реагирующего на внешний раздражитель, например прикосновение, боль или свет) к специфическим и специализированным нейронам в спинном или головном мозге. Таким образом, зрительная информация отличается от слуховой тем, что передается по другим проводящим путям.

В 1928 году Эдриан подвел итог своей работы характерной для него четкой формулировкой: “Все импульсы очень похожи независимо от того, вызывает ли сигнал ощущение света, или прикосновения, или боли; если они идут тесной чередой, ощущение сильное; если они разделены какими#то промежутками, ощущение, соответственно, слабое”.

Наконец, Эдриан установил, что сигналы, посылаемые от моторных нейронов мозга к мышцам, почти идентичны передаваемым по сенсорным нейронам от кожи в мозг: “Моторные волокна передают разряды, почти в точности копирующие те, что идут по сенсорным волокнам. Эти импульсы <…> подчиняются тому же принципу – “все или ничего”». Таким образом, быстрая череда потенциалов действия, идущая по определенному проводящему пути, вызывает движение наших пальцев, а не восприятие разноцветных огней потому, что данный путь связан с мышцами рук, а не с сетчаткой глаз.

Эдриан, как и Шеррингтон, распространил нейронную доктрину Кахаля, которая была основана на анатомических наблюдениях, на функциональную сферу. Но, в отличие от Гольджи и Кахаля, сцепившихся в жестоком противоборстве, Шеррингтон и Эдриан дружили и поддерживали друг друга. За их открытия, связанные с функциями нейронов, они разделили Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1932 года. Узнав о том, что они разделят эту премию, Эдриан, который был на поколение младше, написал Шеррингтону: “Не стану

повторять того, что Вы наверняка уже устали слушать (как высоко мы ценим Вашу работу и Вас самого), но должен сообщить Вам, как несказанно я рад удостоиться этой чести вместе с Вами. Я и мечтать не мог об этом и никогда бы по здравом размышлении не пожелал этого, потому что не стоило бы делить оказанную Вам честь, но, раз уж это случилось, я невольно радуюсь своему везению".

Эдриан прислушался к "бах-бах-бах" нейронных сигналов и открыл, что частота этих электрических импульсов отражает силу сенсорного раздражителя, но некоторые вопросы по#прежнему оставались без ответа. Что стоит за замечательной способностью нервной системы передавать электричество по принципу "все или ничего"? Как включаются и выключаются эти электрические сигналы и какой механизм отвечает за их быстрое распространение по аксону?

Третья фаза в истории изучения нейронных сигналов касалась механизмов, лежащих в основе потенциала действия, и началась с мембранной гипотезы, которую впервые выдвинул в 1902 году Юлиус Бернштейн – ученик Гельмгольца и один из самых талантливых и выдающихся электрофизиологов xix века. Он стремился узнать, какие механизмы приводят к возникновению импульсов по принципу "все или ничего" и что служит переносчиком электрических зарядов при потенциале действия.

Бернштейн понимал, что аксон окружен наружной мембраной клетки и даже в состоянии покоя, в отсутствие какого#либо возбуждения, на всей мембране сохраняется определенная постоянная разница потенциалов, то есть электрическое напряжение. Он знал, что эта разница, которую теперь называют мембранным потенциалом покоя, очень важна для работы нейрона, потому что передача сигналов по нейронам целиком основана на изменениях этой разницы (потенциала покоя). Он установил, что потенциал покоя на всей мембране составляет около 70 милливольт, причем суммарный заряд внутри клетки отрицательный, а снаружи – положительный.

Чем определяется эта разница потенциалов? Бернштейн рассудил: что#то должно переносить электрические заряды через клеточную мембрану. Он знал, что все клетки организма плавают во внеклеточной жидкости. Эта жидкость не содержит свободных электронов, которые могли бы переносить электрический ток, как в металлических проводниках, но богата ионами – электрически заряженными атомами[12], например, натрия, калия и хлора. Цитоплазма внутри каждой клетки тоже содержит ионы в высокой концентрации. Возможно, именно эти ионы переносят ток, рассудил Бернштейн. Кроме того, он догадался, что различие в концентрациях ионов внутри и снаружи клетки может быть причиной возникновения тока через мембрану.

Из предшествующих исследований Бернштейну было известно, что внеклеточная жидкость соленая: в ней в большой концентрации содержатся положительно заряженные ионы натрия, уравновешенные столь же высокой концентрацией отрицательно заряженных ионов хлора. В цитоплазме клетки, в свою очередь, в большой концентрации находятся отрицательно заряженные белки, уравновешенные положительно заряженными ионами калия. Таким образом, положительные и отрицательные заряды ионов по обе стороны клеточной мембраны уравновешивают друг друга, но ионы при этом задействованы разные.

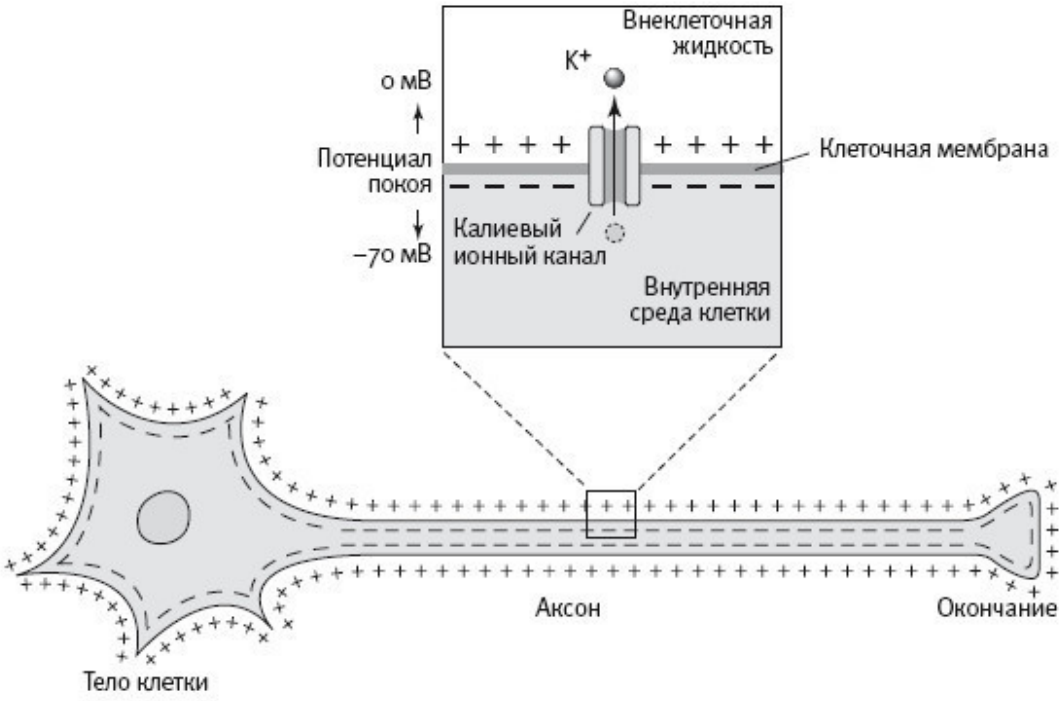
Чтобы электрические заряды могли проходить сквозь мембрану нервной клетки, мембрана должна быть проницаема для некоторых ионов внеклеточной жидкости или цитоплазмы. Но каких именно? Проверив ряд предположений экспериментально, Бернштейн

[12] Строго говоря, далеко не все ионы можно назвать электрически заряженными атомами. Многие ионы состоят из двух и более атомов. Но ключевую роль в работе нервной клетки играют именно одноатомные нейроны, поэтому автор и упростил подобным образом определение иона.

пришел к смелому выводу, что в состоянии покоя клеточная мембрана непроницаема для всех ионов, кроме одного – калия. Он доказывал, что в клеточной мембране должны быть специальные отверстия, которые теперь называют ионными каналами. Эти каналы позволяют ионам калия, и только им, спокойно вытекать по градиенту концентрации из клетки, где их концентрация высока, наружу, где их концентрация ниже. Ионы калия заряжены положительно, поэтому, когда они выходят из клетки, внутри клеточной мембраны образуется небольшой избыток отрицательных зарядов, связанных с находящимися в цитоплазме белками.

Однако по мере того, как ионы калия выходят из клетки, их все больше притягивает обратно суммарный отрицательный заряд, возникающий в связи с их выходом. Поэтому наружная поверхность клеточной мембраны покрывается положительными зарядами ионов калия, вышедших из клетки, а внутренняя – отрицательными зарядами белков, которые пытаются затянуть ионы калия обратно. Возникающее равновесное состояние обеспечивает постоянный мембранный потенциал на уровне –70 милливольт (рис. 5–3).

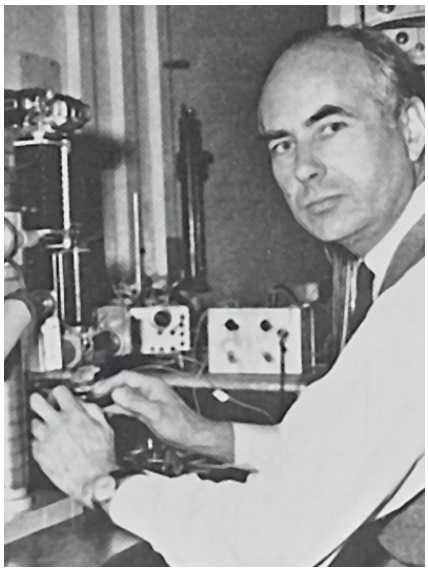
Эти принципиальные открытия, касающиеся механизма поддержания потенциала покоя нервными клетками, подвели Бернштейна к следующему вопросу. Что происходит, когда нейрон стимулируют достаточно сильно, чтобы вызвать возникновение потенциала действия? Бернштейн воздействовал на аксон нервной клетки электрическим током работающего на батарейках стимулятора и заключил, что избирательная проницаемость клеточной мембраны во время потенциала действия очень ненадолго перестает работать, позволяя всем ионам свободно входить в клетку и выходить из нее и доводя мембранный потенциал до нуля. Исходя из этих соображений, потенциал действия, который изменяет мембранный потенциал от –70 до 0 милливольт, должен иметь амплитуду 70 милливольт.



5–3. Открытый Бернштейном мембранный потенциал покоя. Юлиус Бернштейн пришел к заключению, что между внутренней средой нервной клетки и внеклеточной жидкостью должна быть разница потенциалов даже в состоянии покоя. Он предположил, что в клеточной мембране имеются специальные каналы, по которым положительно заряженные ионы калия (K+) могут выходить из клетки, и что теряемый при этом положительный

заряд оставляет внутреннюю среду клетки отрицательно заряженной, создавая мембранный потенциал покоя.

Мембранная гипотеза, сформулированная Бернштейном, была весьма убедительна – отчасти благодаря тому, что в ее основе лежали давно установленные принципы движения ионов в растворах, а отчасти благодаря своей красоте. Потенциалы покоя и действия не требовали сложных биохимических реакций, а просто использовали энергию, накопленную градиентами концентраций ионов. В целом же сформулированная Бернштейном гипотеза наряду с выводами Гальвани и Гельмгольца убедительно свидетельствовала, что физические и химические законы позволяют объяснять даже некоторые аспекты работы психики – передачу сигналов по нервной системе, а значит, и управление поведением. Отпадала нужда в "жизненной силе" и других явлениях, не поддающихся объяснению в физических и химических терминах, для таких явлений не оставалось места.



5–4. Алан Ходжкин (1914–1998) и Эндрю Хаксли (р. 1917) провели ряд классических экспериментов на гигантских аксонах нервных клеток кальмара. Они не только подтвердили представление Бернштейна о том, что мембранный потенциал покоя обеспечивается выхо-

дом из клетки ионов калия, но и открыли, что потенциал действия вызывается входом в клетку ионов натрия. (*Фотографии любезно предоставили Джонатан Хопкинс и Э. Хаксли.*)

Четвертая фаза была временем ионной гипотезы и трудов Алана Ходжкина, самого выдающегося из учеников Эдриана, и Эндрю Хаксли, талантливого ученика и коллеги самого Ходжкина (рис. 5–4). Сотрудничество Ходжкина и Хаксли было тесным и плодотворным. Ходжкину было свойственно глубокое понимание природы и истории изучения работы нервных клеток. Прекрасный экспериментатор и превосходный теоретик, он всегда искал общий смысл, стоящий за непосредственными результатами. Хаксли был одарен технически и блистал в математике. Он изобрел новые способы регистрации и визуализации работы отдельных клеток и разработал математические модели для описания данных, которые они с Ходжкином получили. Их сотрудничество было тем, чем должно быть: вместе они значили больше, чем по отдельности.

Огромные дарования Ходжкина стали очевидны уже в начале его карьеры, и когда в 1939 году началось его сотрудничество с Хаксли, он уже внес значительный вклад в изучение передачи нервных сигналов. Он получил степень доктора философии в 1936 году в Кембриджском университете, защитив диссертацию на тему “Природа проводимости нервов”. В ней он, приведя красноречивые количественные подробности, показал, что электрический ток, возникающий при потенциале действия, оказывается достаточно сильным, чтобы перескакивать через анестезированный участок аксона и вызывать потенциал действия на следующем неанестезированном участке. Эти эксперименты позволили окончательно разобраться в том, как единожды вызванный потенциал действия может распространяться по аксону, не пропадая и не слабея. Ходжкин продемонстрировал, что это происходит благодаря тому, что ток, возникающий при потенциале действия, значительно сильнее тока, которого было бы достаточно для возбуждения соседнего участка.

Исследования, описанные в диссертации Ходжкина, были так важны и так красиво выполнены, что сразу привлекли к нему внимание международного научного сообщества, хотя ученому было тогда всего двадцать два года. Арчибальд Хилл, нобелевский лауреат и один из ведущих английских физиологов, присутствовал при защите диссертации Ходжкина, и она произвела на него такое впечатление, что он отправил ее Герберту Гассеру, президенту Рокфеллеровского института. В сопроводительном письме Хилл называл Ходжкина “весьма выдающимся” и писал: “Добиться должности научного сотрудника в кембриджском Тринити-колледже на четвертом году обучения – почти неслыханная честь для ученого экспериментатора, но этот юноша ее удостоился”.

Гассер нашел диссертацию Ходжкина “прекрасно исполненной экспериментальной работой” и пригласил его провести 1937 год в качестве внештатного сотрудника в Рокфеллеровском институте. В течение этого года Ходжкин подружился с Грундфестом, который работал в соседней лаборатории. Кроме того, Ходжкин посетил ряд других американских лабораторий и в ходе этих визитов узнал о гигантском аксоне кальмара, который он впоследствии с немалым успехом использовал в своих экспериментах. И наконец, он познакомился с женщиной, которая впоследствии стала его женой, – дочерью профессора Рокфеллеровского института. Неплохой набор достижений за один год!

Первое замечательное открытие Ходжкина и Хаксли было сделано в 1939 году, когда они приехали на морскую биологическую станцию в Плимуте, чтобы исследовать, как возникает потенциал действия в гигантском аксоне кальмара. Незадолго до этого британский нейроанатом Джон Зэкари Янг выяснил, что у кальмара, одного из самых быстрых морских пловцов, имеется огромный аксон диаметром в целый миллиметр, то есть почти в тысячу раз толще, чем большинство аксонов человеческого тела. Он примерно такой же толщины, как тонкие спагетти, и видим невооруженным глазом. Янг как сравнительный анатом знал, что

возникающие у животных в ходе эволюции специализированные структуры помогают им выживать в своей среде обитания, и понял, что специализированный аксон кальмара, позволяющий ему на большой скорости спасаться от хищников, может оказаться для биологов ценным подарком судьбы.

Ходжкин и Хаксли сразу почувствовали, что гигантский аксон кальмара может оказаться именно тем, что им нужно, чтобы воплотить в жизнь мечту всякого нейробиолога – научиться регистрировать потенциал действия не только снаружи клетки, но и внутри и через это выяснить, как он возникает. Благодаря размеру этого аксона они могли ввести один электрод в цитоплазму клетки, оставив другой снаружи. Полученные данные подтвердили вывод Бернштейна, что потенциал покоя составляет около –70 милливольт и что он зависит от движения ионов калия по ионным каналам. Но когда они стимулировали аксон электрическим током, чтобы вызвать потенциал действия, как это делал Бернштейн, они, к своему удивлению, обнаружили, что амплитуда потенциала действия составляла 110 милливольт, а не 70, как предсказывал Бернштейн. Потенциал действия повышал электрический потенциал на мембране от –70 милливольт в покое до +40 милливольт на пике. Из этого поразительного несоответствия следовал важный вывод: гипотеза Бернштейна о том, что потенциал действия соответствует промежутку, когда клеточная мембрана становится проницаемой для всех ионов, была ошибочной. Судя по всему, во время потенциала действия мембрана по#прежнему работала избирательно, пропуская сквозь себя одни ионы и не пропуская другие.

Это было замечательное открытие. Поскольку потенциалы действия служат ключевыми сигналами, передающими информацию об ощущениях, мыслях, эмоциях и воспоминаниях из одного участка мозга в другой, вопрос о том, как возникает потенциал действия, к 1939 году стал главным вопросом всей нейробиологии. Ходжкин и Хаксли всерьез задумались над ним, но, прежде чем они успели проверить хотя бы одну из своих идей, в дело вмешалась Вторая мировая война, и их обоих призвали на военную службу.

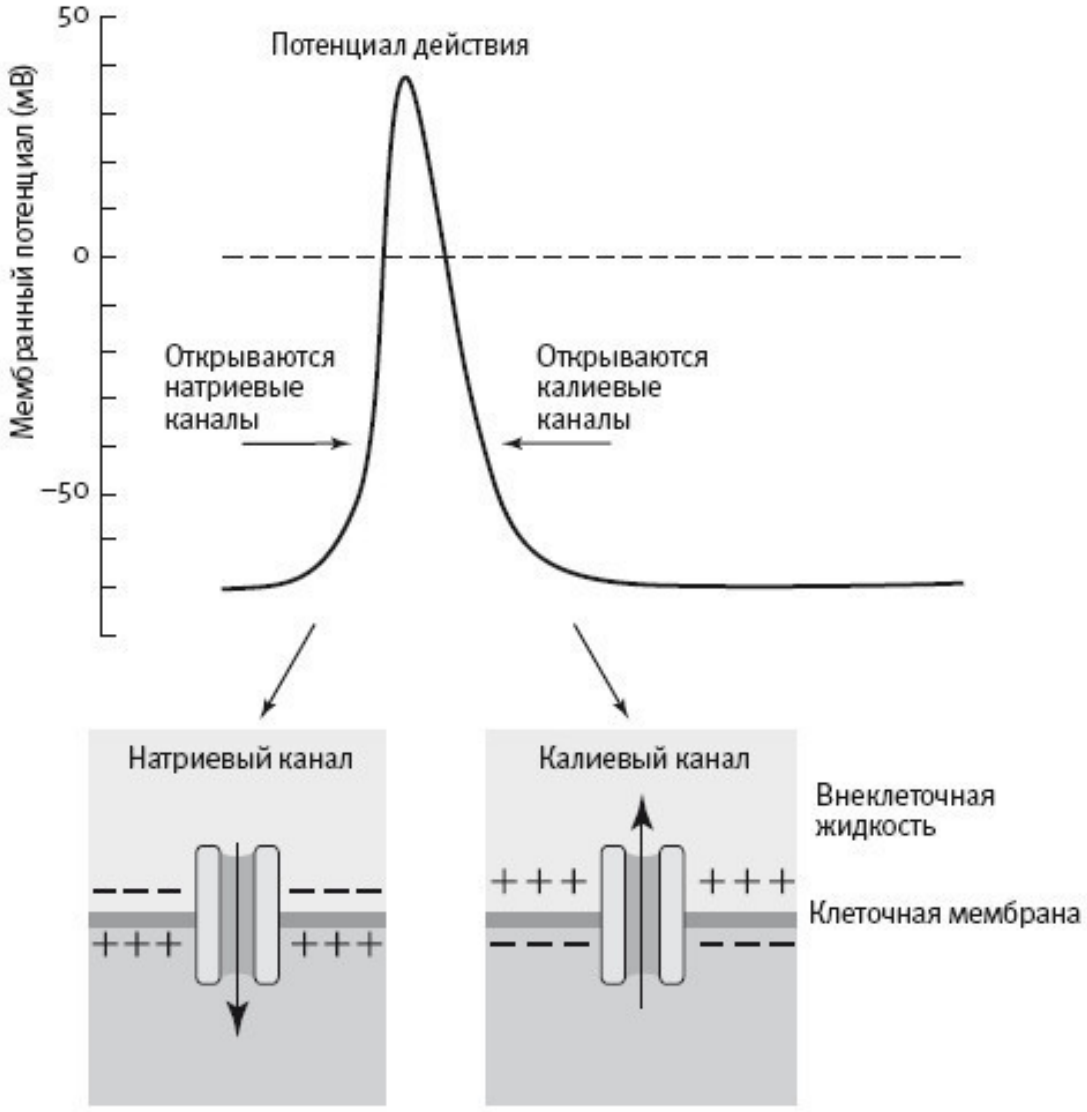
Они смогли вернуться к исследованиям только в 1945 году. Поработав некоторое время с Бернардом Кацем в Университетском колледже Лондона (пока Хаксли готовился к свадьбе), Ходжкин выяснил, что фаза нарастания (в ходе которой мембранный потенциал растет и достигает пика) зависит от количества натрия во внеклеточной жидкости, а на фазу реполяризации (повторного снижения мембранного потенциала) влияет концентрация калия. Это открытие заставило Ходжкина и Хаксли предположить, что некоторые из ионных каналов клетки избирательно проницаемы для натрия и открываются только на время фазы нарастания, в то время как другие каналы открываются только на время фазы реполяризации.

Чтобы непосредственно проверить эту идею, Ходжкин, Хаксли и Кац применили к гигантскому аксону кальмара метод фиксации потенциала – недавно разработанную технологию, позволяющую измерять ток ионов через клеточную мембрану. Они вновь подтвердили вывод Бернштейна, что потенциал покоя создается неравномерным распределением ионов калия по разные стороны клеточной мембраны. Кроме того, они подтвердили и свое собственное наблюдение, что после достаточно сильной электрической стимуляции мембраны ионы натрия поступают в клетку в течение приблизительно 0,001 секунды, меняя напряжение на мембране с –70 до +40 милливольт и тем самым обеспечивая фазу нарастания потенциала действия. За усиленным притоком натрия почти сразу следует резкое усиление оттока калия, которое обеспечивает реполяризацию мембраны и возвращает мембранный потенциал к его исходному значению.

Но как клеточная мембрана регулирует эти изменения проводимости для ионов натрия и калия? Ходжкин и Хаксли предположили, что существуют ионные каналы особого, ранее не предвиденного класса, у которых имеются “дверцы” или “ворота”, способные открываться и закрываться. Согласно их гипотезе, по мере распространения потенциала действия

по аксону ворота натриевых, а сразу вслед за ними и калиевых каналов открываются и вскоре закрываются. Ходжкин и Хаксли также поняли, что, поскольку эти ворота открываются и закрываются очень быстро, воротный механизм должен регулироваться разностью потенциалов на клеточной мембране. Поэтому они назвали такие натриевые и калиевые каналы потенциал-зависимыми каналами (*voltage-gated channels*[1]). В свою очередь, каналы, открытые Бернштейном и ответственные за поддержание потенциала покоя, получили название проточных калиевых каналов, так как они не имеют ворот и на них не действует разность потенциалов на клеточной мембране.

Когда нейрон пребывает в состоянии покоя, потенциал-зависимые каналы закрыты. Когда стимулятор повышает мембранный потенциал до порогового уровня, например с –70 до –55 милливольт, потенциал-зависимые натриевые каналы открываются, и ионы натрия устремляются внутрь клетки, вызывая краткое, но резкое увеличение количества положительных зарядов и поднимая мембранный потенциал до +40 милливольт. В ответ на это изменение мембранного потенциала натриевые каналы, открывшись на некоторое время, закрываются, а потенциал-зависимые калиевые каналы ненадолго открываются, увеличивая отток положительно заряженных ионов калия из клетки и быстро возвращая мембранный потенциал к состоянию покоя, – 70 милливольт (рис. 5–5).



5–5. Модель потенциала действия Ходжкина – Хаксли, полученная благодаря использованию внутриклеточного электрода. Приток положительно заряженных ионов натрия (Na +) меняет суммарный заряд внутри клетки и вызывает нарастание потенциала действия. Почти сразу открываются и калиевые каналы, и ионы калия (K+) вытекают из клетки, обеспечивая реполяризацию мембраны и возвращая мембранный потенциал на исходный уровень.

Каждый потенциал действия оставляет клетку с чем должно быть, количеством натрия внутри и с количеством калия снаружи. Ходжкин выяснил, что этот дисбаланс исправляется особым белком, который транспортирует избыточные ионы натрия из клетки, а ионы калия – в клетку. В конечном итоге исходные градиенты концентраций натрия и калия восстанавливаются.

После того как потенциал действия возникает на одном участке аксона, создаваемый при этом ток возбуждает соседние участки, вызывая потенциал действия и на них. Происходящая в результате цепная реакция обеспечивает передачу потенциала действия по всей длине аксона от места, где он был вызван первоначально, до окончаний аксона, подходящих к другому нейрону (или мышечной клетке). Этим способом от одного конца нейрона к другому передаются сигналы, обеспечивающие зрительные ощущения, движения, мысли и воспоминания.

За свою концепцию, теперь известную как ионная гипотеза, в 1963 году Ходжкин и Хаксли вместе получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине. Впоследствии Ходжкин говорил, что премия должна была достаться кальмару, гигантский аксон которого сделал их эксперименты возможными. Но это проявление скромности не отдает должного сделанным этими двумя исследователями замечательным открытиям – открытиям, которые дали научному сообществу, в том числе новообращенным вроде меня, уверенность в том, что мы сможем разобраться в передаче сигналов в мозге и на более глубоком уровне.

Когда в нейробиологии стали применять молекулярно-биологические методы, выяснилось, что потенциал-зависимые натриевые и калиевые каналы представляют собой белки. Молекулы этих белков пронизывают клеточную мембрану насквозь и содержат заполненный жидкостью проход – ионную пору, по которой канал и пропускает ионы. Ионные каналы имеются в каждой клетке тела, не только в нейронах, и все они поддерживают мембранный потенциал покоя по тому же принципу, который некогда сформулировал Бернштейн.

Ионная гипотеза примерно так же, как до нее нейронная доктрина, упрочила связь между клеточной биологией мозга и другими областями клеточной биологии. Она окончательно доказала, что в работе нервных клеток можно разобраться, используя физические принципы, общие для всех клеток. Что особенно важно, ионная гипотеза подготовила почву для изучения механизмов передачи нейронных сигналов на молекулярном уровне. Универсальность и предсказательная сила ионной гипотезы объединили в единую дисциплину клеточные исследования нервной системы: эта гипотеза сделала для клеточной биологии нейронов то же, что открытие структуры ДНК – для всей биологии.

В 2003 году, через пятьдесят один год после того, как была сформулирована ионная гипотеза, Родерик Маккиннон из Рокфеллеровского университета удостоился Нобелевской премии по химии за получение первых трехмерных изображений расположения атомов в молекулах двух ионных каналов – проточного калиевого и потенциал-зависимого калиевого. Некоторые свойства, выявленные Маккинноном путем весьма новаторского структурного анализа этих двух белков, уже были предсказаны с поразительной проницательностью Ходжкином и Хаксли.

Поскольку движение ионов по каналам через клеточную мембрану имеет принципиальное значение для работы нейронов, а работа нейронов – принципиальное значение для психической деятельности, неудивительно, что мутации в генах, кодирующих белки ионных каналов, вызывают болезни. В 1990 году стало возможным сравнительно несложное и точное определение молекулярных дефектов, ответственных за генетические болезни человека. Вскоре после этого один за другим были выявлены дефекты ионных каналов, лежащие в основе ряда неврологических нарушений работы мышц и мозга.

Такие нарушения теперь называют каналопатиями, или нарушениями функции ионных каналов. К примеру, наследственная идиопатическая эпилепсия (наследственная эпилепсия новорожденных) оказалась связана с мутациями в генах, кодирующих белок калиевого канала. Последними достижениями в исследовании каналопатий и разработкой специфических методов лечения этих нарушений мы непосредственно обязаны обширному запасу знаний о работе ионных каналов, накопленному благодаря Ходжкину и Хаксли.

6. Разговор нервных клеток

Я пришел в лабораторию Гарри Грундфеста в 1955 году, вскоре после того, как в нейробиологии возник серьезный спор о том, как нейроны передают сигналы друг другу. Эпохальные работы Ходжкина и Хаксли позволили разрешить давнюю загадку, как электрические сигналы возникают в нейронах, но как они распространяются между нейронами? Чтобы один нейрон мог "говорить" с другим, он должен посылать сигнал через синапс, промежуток между клетками. Что же это за сигнал?

Грундфест и другие ведущие нейрофизиологи того времени твердо верили, пока в начале пятидесятых их представления не опровергли, что этот краткий сигнал, передающийся через промежуток между клетками, имеет электрическую природу, что потенциал действия в постсинаптическом нейроне начинается благодаря электрическому току, вызванному потенциалом действия в пресинаптическом нейроне. Но начиная с конца двадцатых стали накапливаться данные, свидетельствующие о том, что сигнал, передающийся между некоторыми нервными клетками, может иметь химическую природу. Эти данные были получены в ходе исследований нейронов вегетативной или автономной нервной системы. Вегетативная нервная система считается частью периферической, потому что тела ее нейронов располагаются в скоплениях, называемых периферическими вегетативными ганглиями, которые находятся возле самого спинного мозга и мозгового ствола, но за их пределами. Автономная нервная система управляет жизненно важными непроизвольными действиями, такими как дыхание, сердцебиение, поддержание кровяного давления и пищеварение.

Эти новые данные положили начало химической теории синаптической передачи и привели к спору, который в шутку называли "суп или искра": "искровики", такие как Грундфест, считали, что синаптическая передача имеет электрическую природу, "суповики" – что химическую.

Химическая теория синаптической передачи возникла благодаря исследованиям Генри Дейла и Отто Леви. В двадцатых годах и начале тридцатых они изучали сигналы, посылаемые вегетативной нервной системой в сердце и некоторые железы. Работая независимо друг от друга, они открыли, что, когда потенциал действия, распространяющийся по нейрону вегетативной нервной системы, достигает окончаний его аксона, он вызывает выделение определенного химического вещества в синаптическую щель. Это вещество, которое мы теперь называем нейромедиатором, преодолевает синаптическую щель и достигает клетки-мишени, где его узнают и связывают особые рецепторы, расположенные на наружной поверхности мембраны этой клетки.

Леви, родившийся в Германии и работавший в Австрии физиолог, исследовал те два нерва, то есть пучка аксонов, которые управляют сердцебиением: блуждающий нерв, снижающий частоту сердцебиения, и ускоряющий нерв сердца, повышающий эту частоту. В ходе ключевого эксперимента на лягушках он стимулировал блуждающий нерв, вызывая в нем потенциалы действия, приводившие к снижению частоты сердцебиения. При этом во время и сразу после стимуляции блуждающего нерва он быстро собирал жидкость, окружающую сердце лягушки, и вводил эту жидкость в сердце другой лягушки. Как ни удивительно, у второй лягушки тоже замедлялось сердцебиение! Это не было вызвано никакими потенциалами действия, вместо них вещество, выделяемое блуждающим нервом первой лягушки, передавало замедляющий сердце сигнал.

Впоследствии Леви и британский фармаколог Дейл показали, что вещество, выделяемое блуждающим нервом, представляет собой несложное химическое соединение ацетилхолин. Ацетилхолин играет роль нейромедиатора и замедляет сердцебиение, связываясь с

особым рецептором. Вещество, выделяемое ускоряющим нервом сердца, родственно адреналину, еще одному несложному соединению. За открытие первых свидетельств того, что сигналы, передаваемые от одного нейрона вегетативной нервной системы к другому через синапсы, переносятся специфическими химическими медиаторами, Леви и Дейл в 1936 году разделили Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

Через два года после получения Нобелевской премии Леви на собственном опыте убедился в том, с каким презрением австрийские нацисты относились к науке. Через день после того, как Гитлер въехал в Австрию под приветственные крики миллионов моих сограждан, Леви, ученый, двадцать девять лет работавший профессором фармакологии в Грацском университете, оказался за решеткой, потому что был евреем. Через два месяца его отпустили при условии, что он переведет свою долю Нобелевской премии, по#прежнему хранившуюся в шведском банке, в контролируемый нацистами австрийский банк и немедленно покинет страну. Так он и сделал и вскоре стал профессором в медицинской школе Нью-Йоркского университета, где несколько лет спустя мне довелось присутствовать на его лекции о сделанном им открытии химической передачи сигналов в сердце.

Новаторские работы Леви и Дейла по исследованию вегетативной нервной системы убедили многих нейробиологов, имевших уклон в фармакологию, что клетки центральной нервной системы, по#видимому, тоже используют нейромедиаторы для передачи сигналов через синаптическую щель. Однако некоторые электрофизиологи, в том числе Джон Экклс и Гарри Грундфест, продолжали в этом сомневаться. Они признавали значение химической передачи для вегетативной нервной системы, но были убеждены, что в головном и спинном мозге сигналы передаются просто слишком быстро, чтобы иметь химическую природу. Поэтому они по#прежнему придерживались теории электрической передачи применительно к центральной нервной системе. Экклс выдвинул гипотезу, что ток, производимый потенциалом действия в пресинаптическом нейроне, пересекает синаптическую щель и входит в постсинаптическую клетку, где усиливается, запуская в этой клетке потенциал действия.

Когда методы регистрации электрических сигналов усовершенствовались, в синапсах между мотонейронами и скелетными мышцами был обнаружен слабый электрический сигнал – доказательство того, что потенциал действия пресинаптического нейрона не сразу вызывает в мышечной клетке потенциал действия, а вначале порождает в ней намного более слабый сигнал особого рода, названный синаптическим потенциалом. Оказалось, что синаптические потенциалы отличаются от потенциалов действия по двум параметрам: они намного медленнее, а их амплитуда может варьировать. Поэтому на репродукторе вроде того, который использовал Эдриан, синаптический потенциал звучал бы как тихое, медленное продолжительное шипение, а не как резкое “бах-бах-бах” потенциала действия, причем громкость этого шипения могла бы варьировать. Открытие синаптического потенциала доказывало, что нервные клетки используют два типа электрических сигналов: потенциал действия для передачи сигналов на большие расстояния и синаптический потенциал для локальной передачи, чтобы переправить информацию через синапс.

Экклс сразу осознал, что именно синаптические потенциалы ответственны за открытую Шеррингтоном “интегративную деятельность нервной системы”. В любой момент времени на всякую клетку любого проводящего пути сыплется множество синаптических сигналов, как возбуждающих, так и тормозящих, но у клетки есть только две альтернативы: запускать или не запускать потенциал действия. Более того, базовая задача нервной клетки состоит именно в интеграции сигналов: клетка суммирует получаемые ею от пресинаптических клеток возбуждающие и тормозящие синаптические потенциалы и запускает потенциал действия лишь тогда, когда сумма возбуждающих сигналов превышает сумму тормозящих на величину, чем некоторое пороговое значение. Экклс понял, что именно способность ней-

ронов суммировать все возбуждающие и тормозящие синаптические потенциалы, поступающие по ведущим к данному нейрону аксонам других нейронов, и обеспечивает описанное Шеррингтоном постоянство поведенческих реакций.

К середине сороковых годов сторонники обеих теорий признали, что синаптический потенциал возникает во всех постсинаптических клетках и составляет ключевое связующее звено между потенциалом действия в пресинаптическом и постсинаптическом нейронах. Но это открытие лишь уточняло предмет разногласий: электрическим или химическим путем вызываются синаптические потенциалы в центральной нервной системе?

Дейл и его коллега Уильям Фельдберг, еще один эмигрант из Германии, совершили прорыв в этой области, установив, что ацетилхолин, который используется в автономной нервной системе для замедления сердца, выделяется также мотонейронами спинного мозга, возбуждающими скелетные мышцы. Это открытие подвигло Бернарда Каца разобраться, вызывается ли синаптический потенциал в скелетных мышцах ацетилхолином.

Кац, учившийся медицине в Лейпцигском университете и еще студентом получивший за свои исследования престижную премию, покинул гитлеровскую Германию в 1935 году – потому что был евреем. Он переехал в Англию, где его взяли в лабораторию Арчибальда Хилла в Университетском колледже Лондона. В феврале этого года Кац прибыл в английский порт Харвич, не имея при себе паспорта, и это был, как он впоследствии вспоминал, “жуткий опыт”. Через три месяца после этого Кац присутствовал на конференции в Кембридже, где сидел в первых рядах во время перебранки на тему “суп или искра”. “К моему огромному изумлению, – писал он впоследствии, – я был свидетелем чуть ли не рукопашного боя между Дж. Экклсом и Г. Дейлом, в котором председательствующий Эдриан очень смущенно и неохотно пытался играть роль судьи”. Джон Экклс, лидер “искровиков”, представил работу, решительно оспаривавшую ключевой тезис лидера “суповиков” Генри Дейла и его коллег – что ацетилхолин играет в нервной системе роль медиатора, передавая сигналы по синапсам. “Мне было довольно сложно уловить нить этого спора, так как я был не вполне знаком с терминологией, – вспоминал Кац. – Слово ‘медиатор’ напоминало мне что#то из области радиосвязи, и поскольку в итоге получалась бессмыслица, предмет спора приводил меня в некоторое замешательство”.

На самом деле, не считая того, что приводило Каца в замешательство, одна из проблем с химическими медиаторами состояла в том, что никто не знал, как электрический сигнал в пресинаптическом окончании может вызывать выделение медиатора и как затем этот химический сигнал в постсинаптическом нейроне преобразовывается в электрический. В течение следующих двух десятилетий Кац принимал участие в попытках ответить на эти вопросы и прояснить для центральной нервной системы то, что Дейл и Леви прояснили для вегетативной.

Однако, как и в случае с Ходжкином и Хаксли, угроза войны на время прервала работу Каца. В августе 1939 года, за месяц до того, как разразилась Вторая мировая, Кац, чувствовавший себя в Лондоне неуютно как чужестранец из Германии, принял предложение Джона Экклса, который приглашал его в Австралию на работу в своей лаборатории в Сиднее.

Случилось так, что еще один ученый, уехавший из Европы, спасаясь от нацистов, Стивен Куффлер, который тоже оказал на меня большое влияние, также в итоге оказался в Сиднее и стал работать в лаборатории Экклса (рис. 6–1). Куффлер начинал как врач, затем стал физиологом. Он родился в Венгрии, а учился в Вене, откуда в 1938 году уехал, потому что в придачу к тому, что его дедушка был еврей, сам он был социалистом. В Австрии Куффлер был чемпионом по теннису среди юношей и впоследствии шутил, что Экклс пригласил его в свою лабораторию потому, что ему требовался достойный партнер по теннису. Хотя Экклс и Кац как ученые были намного опытнее, Куффлер поразил их своим хирургическим искусством. Препарируя мышцы, он умел выделять отдельные волокна, чтобы исследовать синап-

тический вход одного мотонейрона к одному мышечному волокну, а для этого требовалось редкое мастерство.

6–1. Трое первопроходцев в области исследований синаптической передачи вместе работали в Австралии во время Второй мировой войны, а впоследствии внесли весомый вклад в эту область независимо друг от друга. Стивен Куффлер (слева, 1918–1980) описал свойства дендритов раков, Джон Экклс (в центре, 1903–1997) открыл синаптическое торможение в спинном мозгу, а Бернард Кац (справа, 1911–2002) прояснил механизмы синаптического возбуждения и химической передачи сигналов. (*Фото любезно предоставил Дэмьен Куффлер.*)

Всю войну Кац, Куффлер и Экклс работали вместе, споря о том, химическим или электрическим путем передаются сигналы от нейронов к мышцам. Экклс пытался разобраться, почему эти сигналы передаются быстро, несмотря на данные, свидетельствующие в пользу химической передачи, которая, по его убеждению, должна была идти медленно. Он предположил, что синаптический потенциал включает два компонента: незамедлительный быстрый процесс, связанный с электрическим сигналом, и длительное последействие, связанное с химическим медиатором, таким как ацетилхолин. Кац и Куффнер стали новоиспеченными “суповиками”, когда им удалось получить данные, говорящие о том, что даже первый компонент синаптического потенциала в мышцах вызывает химическое соединение – ацетилхолин. В 1944 году, когда Вторая мировая война уже приближалась к концу, Кац вернулся в Англию, а Куффлер уехал в Соединенные Штаты. В 1945 году Экклс принял предложение занять должность профессора в университете города Данидин в Новой Зеландии и основал там новую лабораторию.

Экспериментальные данные давали новые и новые основания для сомнений в электрической теории синаптической передачи, и Экклс, человек крупный, спортивный и обычно энергичный и увлеченный, пришел в уныние. В конце шестидесятых, после того как мы с ним подружились, он вспоминал, как в этом подавленном состоянии испытал глубокое интеллектуальное преображение, навсегда оставившее в нем чувство благодарности. Это произошло в университетском профессорском клубе, куда Экклс регулярно приходил отдох-

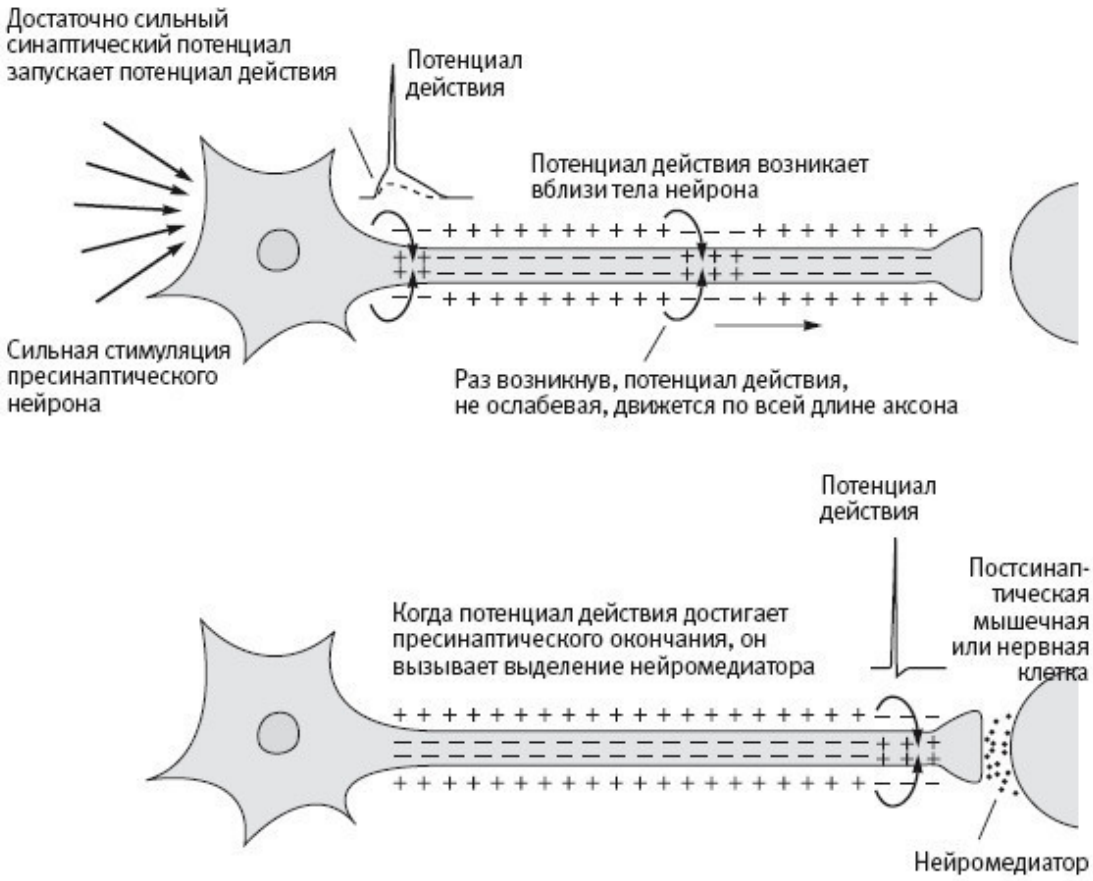
нуть после работы. Придя однажды в этот клуб, он встретил там Карла Поппера, философа науки из Вены, который в 1937 году, предвидя, что Гитлер может аннексировать Австрию, уехал в Новую Зеландию. Разговорившись с Поппером, Экклс рассказал ему о споре сторонников химической и электрической передачи и о том, что он, похоже, оказался на проигравшей стороне в этой долгой и принципиальной для него дискуссии.

Рассказ вызвал у Поппера живейший интерес. Он стал уверять Экклса, что у того не было никаких причин для отчаяния, напротив, были причины радоваться. Результаты его исследований никто не оспаривал, оспаривали лишь его теорию, его интерпретацию собственных результатов. Он занимался самой что ни на есть настоящей наукой. Столкновение противоположных гипотез происходит лишь тогда, когда факты проясняются и позволяют детально разобраться в их альтернативных трактовках. И лишь тогда, когда происходит столкновение таких детально проработанных идей, может выясниться ложность одной из них. Не имеет значения, доказывал Поппер, на чьей стороне окажется истина. Сила научного метода и состоит прежде всего в его способности опровергать гипотезы. Наука движется вперед за счет нескончаемых и постоянно совершенствуемых циклов предположений и опровержений. Один ученый выдвигает новую идею об устройстве природы, а затем другие занимаются поиском опытных данных, которые подтвердят или опровергнут эту идею.

У Экклса были все основания радоваться, доказывал Поппер. Он убеждал Экклса вернуться в лабораторию и далее усовершенствовать свои идеи и экспериментальные свидетельства против электрической передачи, чтобы он мог, если понадобится, на деле опровергнуть эту гипотезу. Впоследствии Экклс писал: “Я научился у Поппера тому, в чем вижу теперь самую суть научного исследования: давать волю воображению при умозрительном построении гипотез, а затем как можно усерднее пытаться их оспорить, используя все имеющиеся и проводя одну за другой самые тщательные экспериментальные проверки. Более того, я научился у него даже радоваться опровержению своих излюбленных гипотез, потому что это тоже научные достижения и потому что такие опровержения позволили нам многому научиться. Общение с Поппером принесло мне счастливое освобождение от косных общепринятых представлений о природе научных исследований. <…> Освобождение от этих сдерживающих догм превращает научное исследование в увлекательное приключение, открывающее новые горизонты, и я думаю, что эта установка сказалась на всей моей последующей жизни в науке”.

Экклсу не пришлось долго ждать опровержения своей гипотезы. Вернувшись в Университетский колледж Лондона, Кац получил прямые доказательства того, что именно ацетилхолин, выделяемый мотонейронами, является причиной, причем единственной, развития всех фаз синаптического потенциала. При этом ацетилхолин очень быстро диффундирует в синаптической щели и сразу связывается с рецепторами на поверхности мышечной клетки. Впоследствии было установлено, что ацетилхолиновый рецептор представляет собой белок, состоящий из двух основных компонентов: структуры, связывающей ацетилхолин, и ионного канала. Когда рецептор узнает и связывает ацетилхолин, это вызывает открывание ионного канала.

Затем Кац показал, что ионные каналы, зависимые от химического медиатора, отличаются от потенциал-зависимых натриевых и калиевых каналов двумя свойствами: они реагируют только на специфический химический медиатор и пропускают и натрий, и калий. Одновременное прохождение ионов натрия и калия по этим каналам меняет мембранный потенциал мышечной клетки от –70 милливольт почти до нуля. Кроме того, хотя синаптический потенциал и вызывается химическим путем, это происходит очень быстро, как и предсказывал Дейл. Если синаптический потенциал оказывается достаточно сильным, он вызывает потенциал действия, который приводит к сокращению мышечного волокна (рис. 6–2).



6–2. Распространения потенциала действия.

Результаты, полученные общими усилиями Ходжкина, Хаксли и Каца, доказали, что есть два принципиально разных типа ионных каналов. Потенциал-зависимые вызывают потенциалы действия, передающие информацию в пределах нейрона, в то время как медиатор-зависимые передают информацию между нейронами (или между нейронами и мышечными клетками), вызывая потенциалы действия в постсинаптических клетках. Таким образом, Кац выяснил, что медиатор-зависимые каналы, вызывая синаптический потенциал, как бы преобразуют химические сигналы, идущие от мотонейронов, в электрические, принимаемые мышечными клетками.

Наряду с болезнями, связанными с дефектами потенциал-зависимых каналов, существуют и болезни, связанные с дефектами медиатор-зависимых каналов. В частности, при миастении – серьезном аутоиммунном заболевании, встречающемся преимущественно у мужчин, – организм производит антитела, разрушающие ацетилхолиновые рецепторы мышечных клеток и тем самым ослабляя мышцы. Иногда мышцы ослабевают настолько, что пациент не может даже держать глаза открытыми.

Синаптическая передача в спинном и головном мозгу определенно сложнее, чем передача сигналов между мотонейронами и мышцами. Годы с 1925#го по 1935#й Экклс провел за исследованиями спинного мозга под непосредственным руководством Шеррингтона. В 1945 году он вернулся к этой работе и стал заниматься преимущественно ею и к 1951 году получил данные внутриклеточной регистрации мембранного потенциала мотонейронов. Экклс подтвердил вывод Шеррингтона, что мотонейроны получают как возбуждающие, так и тор-

мозные сигналы и что эти сигналы передаются специфическими нейромедиаторами, воздействующими на специфические же рецепторы. Возбуждающие нейромедиаторы, выделяемые ведущими к мотонейрону пресинаптическими нейронами, повышают мембранный потенциал постсинаптической клетки с –70 до –55 милливольт – пороговой величины для запускания потенциала действия, в то время как тормозящие нейромедиаторы снижают мембранный потенциал от –70 до –75 милливольт, в результате чего запустить потенциал действия оказывается намного сложнее.

Как нам теперь известно, основным возбуждающим медиатором в головном мозгу служит глутаминовая аминокислота, а основным тормозящим – аминокислота ГАМК (гамма-аминомасляная кислота). Многие транквилизаторы (например, бензодиазепины, барбитураты, алкоголь и средства для наркоза) связываются с рецепторами ГАМК и оказывают успокаивающее действие на организм, усиливая торможение, обеспечиваемое этими рецепторами.

Тем самым Экклс подтвердил вывод Каца, что возбуждающая синаптическая передача имеет химическую природу, и доказал, что тормозная синаптическая передача тоже имеет химическую природу. Описывая впоследствии эти открытия, Экклс писал: “Карл Поппер убедил меня сформулировать свою гипотезу как можно конкретнее, чтобы она располагала к экспериментальной проверке на ложность. Случилось так, что ложность этой гипотезы мне удалось доказать самому”. Экклс отметил свои открытия тем, что отказался от электрической гипотезы, которую он так активно отстаивал, и стал искренним сторонником химической, столь же активно и увлеченно доказывая ее универсальность.

В это самое время, в октябре 1954 года, Пол Фэтт, один из талантливых соавторов Каца, подготовил превосходную обзорную работу о синаптической передаче. В этой работе Фэтт прозорливо отметил, что было преждевременно делать вывод, что синаптическая передача всегда имеет химическую природу. В заключение он написал: “Хотя все и указывает на то, что химическая передача происходит во всех соединениях <…> лучше всего знакомых физиологу, *вполне возможно, что в некоторых других соединениях происходит электрическая передача*” (курсив мой. – *Э.К.*).

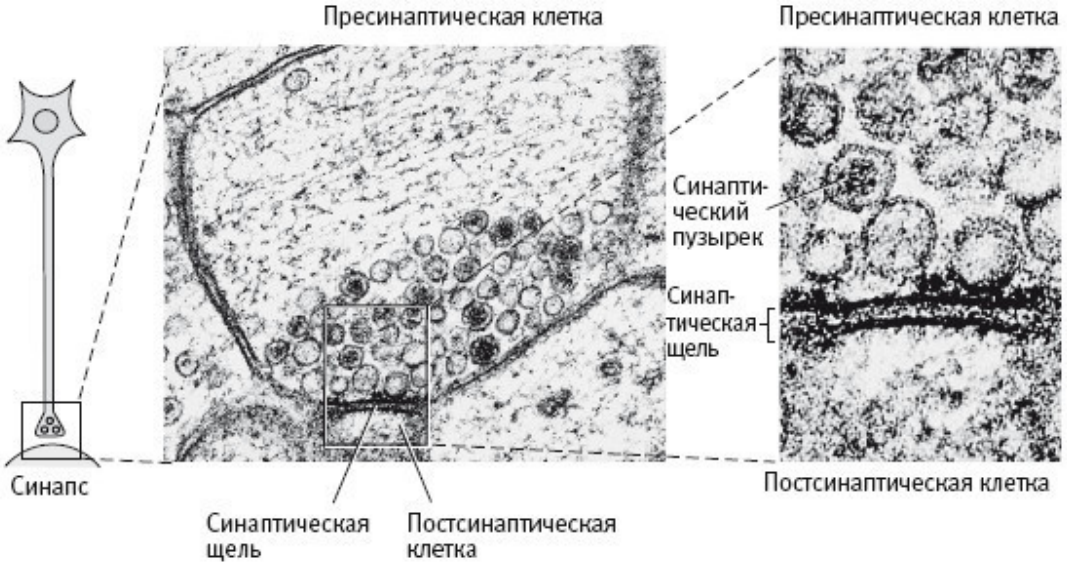
Через три года справедливость предсказания Фэтта убедительно продемонстрировали Эдвин Фершпан и Дэвид Поттер, два постдока из лаборатории Каца, обнаружившие конкретный пример электрической передачи между двумя клетками в нервной системе рака. Таким образом, как это иногда и бывает с научными спорами, обе стороны оказались в чем#то правы. Теперь мы знаем, что большинство синапсов, в том числе те, что исследовались во времена этого спора, имеют химическую природу. Но некоторые нейроны образуют с другими электрические синапсы. В таких синапсах между двумя клетками появляются небольшие мостики, позволяющие электрическому току проходить из одной клетки в другую – примерно так, как некогда предсказывал Гольджи.

Открытие двух форм синаптической передачи заставило меня задаться вопросами, к которым мне еще предстояло вернуться. Почему в мозге преобладают химические синапсы? Не разные ли роли играют в поведении химическая и электрическая передачи?

На последнем этапе своей выдающейся научной карьеры Кац оставил исследования синаптического потенциала клеток-мишеней и обратился к изучению выделения нейромедиатора передающей сигнал клеткой. Он стремился узнать, как электрическое явление в пресинаптическом окончании (потенциал действия) вызывает выделение химического медиатора. Он сделал в этой области два замечательных открытия. Во-первых, когда распространяющийся по аксону потенциал действия достигает пресинаптического окончания, это приводит к открыванию потенциал-зависимых каналов, впускающих в клетку ионы кальция. Приток ионов кальция внутрь пресинаптического окончания запускает серию молеку-

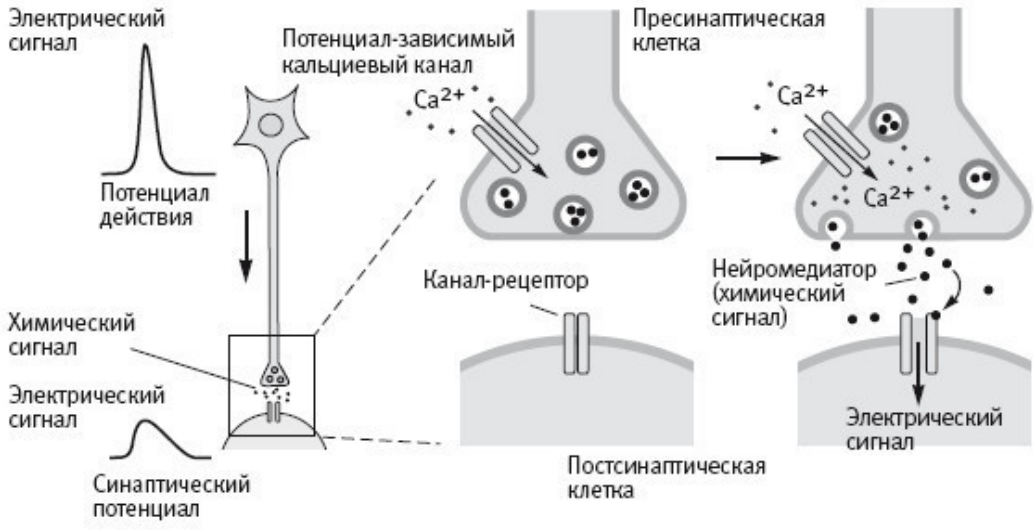
лярных реакций, приводящих к выделению нейромедиатора. Таким образом, открываемые потенциалом действия потенциал-зависимые кальциевые каналы пресинаптической клетки запускают процесс преобразования электрического сигнала в химический, точно так же, как в принимающей сигнал клетке медиатор-зависимые каналы преобразуют химические сигналы обратно в электрические.

Во-вторых, Кац открыл, что медиаторы, такие как ацетилхолин, выделяются из окончания аксона не по одной молекуле, а отдельными небольшими порциями, примерно по пять тысяч. Кац назвал эти порции квантами и предположил, что каждая заключена в окруженный мембраной мешочек, который он обозначил как синаптический пузырек. Микрофотографии синапса, полученные в 1955 году Сэнфордом Пейли и Джорджем Паладе с помощью электронного микроскопа, подтвердили предположение Каца, показав, что пресинаптическое окончание набито пузырьками, в которых, как было доказано впоследствии, содержатся молекулы нейромедиатора (рис. 6–3).



6–3. Как сигнал переходит из клетки в клетку. Первые микрофотографии синапсов показали, что в пресинаптическом окончании имеются синаптические пузырьки, в каждом из которых, как впоследствии выяснилось, содержится около 5000 молекул нейромедиатора. Эти пузырьки скапливаются возле мембраны синаптического окончания, готовые выделить медиатор в промежуток между двумя клетками – синаптическую щель. После пересечения синаптической щели нейромедиаторы связываются с рецепторами на мембране дендрита постсинаптической клетки. (*Перепечатано из журнала Cell, vol. 10, 1993, p. 2, Jessel, Kandel. Воспроизводится с разрешения издательства Elsevier. Фото в центре любезно предоставили Крейг Бейли и Мэри Чэнь.*)

Кац нашел блестящее стратегическое решение для дальнейшей проверки этой идеи. Он переключился с исследования нервно-мышечного синапса лягушки на исследование гигантского синапса кальмара. Работа с этим более удобным объектом позволила Кацу сделать вывод о том, как поступают ионы кальция, когда входят в пресинаптическое окончание: они вызывают слияние синаптических пузырьков с наружной мембраной пресинаптического окончания, при этом выворачиваясь наружу и выделяя медиатор в синаптическую щель (рис. 6–4).



6–4. Из электрического сигнала в химический и обратно. Бернард Кац выяснил, что, когда потенциал действия достигает пресинаптического окончания, это приводит к открыванию кальциевых каналов, и начинается приток ионов кальция внутрь клетки, который вызывает выделение молекул нейромедиатора в синаптическую щель. Нейромедиатор связывается с рецепторами на поверхности постсинаптической клетки, и химические сигналы снова преобразуются в электрические.

Осознание того, что работа мозга – способность не только воспринимать окружающее, но и думать, обучаться и хранить информацию – может осуществляться посредством как электрических, так и химических сигналов, привело в нейробиологию, где уже работали анатомы и электрофизиологи, и биохимиков. Кроме того, поскольку биохимия есть универсальный язык биологии, синаптическая передача привлекла интерес и биологического сообщества в целом, не говоря об исследователях поведения и психики вроде меня.

Как повезло мировой нейробиологии, что Англия, Австралия, Новая Зеландия и Соединенные Штаты открыли двери для замечательных исследователей синапса, изгнанных из Австрии и Германии, в том числе для Леви, Фельдберга, Куффлера и Каца. В связи с этим мне вспоминается история, которую рассказывают о Зигмунде Фрейде. Когда он приехал в Англию и ему показали прекрасный дом на окраине Лондона, где он собирался поселиться, и он увидел, в какую мирную и доброжелательную среду привела его вынужденная эмиграция, это побудило его прошептать с характерной венской иронией: “Хайль Гитлер!”.

7. Простые и сложные нейронные системы

В 1955 году, вскоре после того, как я пришел в Колумбийский университет, Грундфест предложил мне работать вместе с Домиником Пурпурой, молодым врачом, которого он убедил отказаться от карьеры нейрохирурга в пользу фундаментальных исследований мозга (рис. 7–1). Когда я познакомился с Домом, он только что принял решение сосредоточиться на изучении коры – самого высокоразвитого участка головного мозга. Дом интересовался психотропными средствами, и первые эксперименты, которые я помогал ему проводить, касались механизма, благодаря которому психоделическое средство ЛСД (диэтиламид лизергиновой кислоты) вызывает зрительные галлюцинации.

7–1. Доминик Пурпура (р. 1927) выучился на нейрохирурга, но переключился на научную работу и внес немалый вклад в изучение физиологии коры головного мозга. Я работал с ним в 1955–1956 годах, в мой первый период в лаборатории Грундфеста. Впоследствии он вошел в состав научного руководства Стэнфордского университета, а затем Школы медицины Альберта Эйнштейна. (*Фото из архива Эрика Канделя.*)

ЛСД открыли в сороковых годах. К середине пятидесятых он стал общеизвестен в связи с тем, что его широко использовали в рекреационных целях. Олдос Хаксли разрекламировал его психотропные свойства в своей книге “Двери восприятия”, в которой описал, как препарат усиливал его собственное восприятие визуальных ощущений, создавая эффектные, ярко раскрашенные образы и увеличивая ясность видимого. Способность ЛСД и близких ему психоделиков изменять восприятие, мысли и чувства, как это бывает во сне и в состоянии религиозного экстаза, но не в обычной жизни, качественно отличает их от других групп препаратов. Люди, принимающие ЛСД, нередко испытывают чувство, что их сознание расширилось и разделилось надвое: одна его часть активно ощущает усиленные эффекты восприятия, а другая пассивно наблюдает за событиями, как безучастный посторонний. Внимание при этом обычно обращено внутрь, а четкая граница между собственным “я” и окружающим миром стирается, давая принявшему ЛСД человеку мистическое чувство единства с мирозданием. У многих людей нарушения восприятия принимают форму зри-

тельных галлюцинаций, а у некоторых ЛСД даже может вызывать состояние психоза, напоминающего шизофрению. В связи с этими необычными свойствами Дом и хотел узнать, как работает ЛСД.

Годом раньше Вулли и Шоу, два фармаколога, работавшие в Рокфеллеровском институте, установили, что ЛСД связывается с тем же рецептором, что и серотонин – вещество, которое недавно было обнаружено в мозге и считалось нейромедиатором. Свои исследования они проводили на излюбленном препарате фармакологов – гладкой мышце матки крысы, которая, как они обнаружили, спонтанно сокращается в ответ на воздействие серотонина. Оказалось, что ЛСД подавляет этот эффект серотонина за счет его замещения на рецепторе. Это заставило Вулли и Шоу предположить, что ЛСД может подавлять работу серотонина и в мозге. Кроме того, они предположили, что и состояние психоза, которое способен вызывать ЛСД, может быть связано с нарушением нормальной работы серотонина в мозге. Они доказывали, что если это так, то серотонин вполне может оказаться необходимым для нашего душевного здоровья, для нормальной работы нашей психики.

Хотя Дома нисколько не смущала идея использовать гладкую мышцу матки для проверки гипотез о работе химических веществ в головном мозге, он подумал, что уместнее будет исследовать влияние функций мозга на психическое здоровье и заболевания, непосредственно рассматривая мозг и наблюдая действие психоделических средств. Конкретно он хотел узнать, влияет ли ЛСД на синаптическую активность в зрительной коре – области, связанной со зрением, где предположительно возникают существенные искажения зрительного восприятия и галлюцинации. Он попросил меня помочь ему изучить действие серотонина на нейронные проводящие пути, ведущие в зрительную кору, у кошек.

Мы анестезировали животных, снимали у них крышку черепа, обнажая мозг, и устанавливали на поверхности зрительной коры электроды. Нам удалось выяснить, что на зрительную кору ЛСД и серотонин не оказывали противоположного действия, как это происходило с гладкой мышцей матки. Они не только производили одинаковый эффект, подавляя передачу сигналов через синапсы, но и усиливали подавляющее действие друг друга. Тем самым наше исследование, как и последующие, проведенные в других лабораториях, судя по всему, опровергали представление Вулли и Шоу, что искажающее воздействие ЛСД на зрение связано с тем, что это вещество блокирует работу серотонина в зрительной системе мозга. (Теперь мы знаем, что серотонин действует на восемнадцать разных типов рецепторов в разных частях мозга и что ЛСД, судя по всему, вызывает галлюцинации за счет стимуляции одного из этих рецепторов, работающего в лобных долях мозга.)

Это был совсем неплохой результат. В ходе исследований я научился у Дома проводить эксперименты на кошках и работать с электрооборудованием для регистрации и стимуляции нервной деятельности. К своему удивлению, я отметил, что мой первый лабораторный опыт оказался весьма увлекательным, в отличие от той довольно сухой науки, которой меня учили на занятиях в колледже и медицинской школе. В лаборатории наука становится средством, позволяющим формулировать интересные вопросы о природе, обсуждать, важны ли эти вопросы и хорошо ли они сформулированы, а затем планировать эксперименты для поиска возможных ответов на конкретный вопрос.

Вопросы, которыми задавались Грундфест и Пурпура, не имели непосредственного отношения к “я”, “сверх-я” и “оно”, но благодаря им я осознал, что нейробиология начинает нащупывать пути проверки идей, касающихся некоторых аспектов важнейших психических заболеваний, таких как искажения восприятия и галлюцинации при шизофрении.

Еще важнее были увлекательные разговоры с Грундфестом и Пурпурой: они отличались остроумием и иногда переходили на чудесные сплетни о других ученых, их работе, карьере, сексуальной жизни. Дом был необычайно умен, силен в технических вопросах, и общаться с ним было всегда интересно и весело (впоследствии я назвал его Вуди Алленом

нейробиологии). Я начал понимать, что науку как род занятий, особенно в американской лаборатории, отличают не только сами эксперименты, но и их социальный контекст: чувство равенства между учителем и учеником и открытый, постоянный и дико откровенный обмен идеями и критическими замечаниями. Грундфест и Пурпура высоко ценили друг друга и вместе планировали эксперименты, но Грундфест критиковал данные Дома так, будто тот был конкурентом из другой лаборатории. К экспериментам, проводившимся в их с Домом лаборатории, Грундфест относился по крайней мере так же требовательно, как к экспериментам других.

Я не только узнавал от Грундфеста и Пурпуры, а впоследствии также от Стэнли Крейна, молодого коллеги Грундфеста, о важных новых идеях, возникавших в ходе биологических исследований мозга, но и учился у них методологии и стратегии. В целом, подобно тому как горькие воспоминания моего детства о Вене в 1938#м преследовали меня последующие годы, позитивный опыт ранних этапов научной работы и идеи, с которыми я познакомился, когда мне было двадцать пять, оказали огромное влияние на мои мысли и работу всей моей жизни.

Полученные результаты, касающиеся серотонина и ЛСД, вдохновили Дома на то, чтобы довести свое исследование до технически осуществимого предела того времени в опытах на коре головного мозга млекопитающих. С помощью вспышек света мы вызывали активацию зрительной коры. Раздражитель активировал проводящий путь, ведущий к дендритам нейронов зрительной коры. О дендритах тогда мало что было известно. В частности, не было понятно, могут ли в них возникать потенциалы действия, как в аксоне. Исходя из данных своих исследований Пурпура и Грундфест предположили, что дендриты обладают ограниченными электрическими возможностями: в них могут возникать синаптические потенциалы, но не потенциал действия.

Однако Грундфест и Пурпура, придя к этому выводу, не были уверены, что использованные ими экспериментальные методы соответствовали задаче исследования дендритов. В идеале, чтобы отследить синаптические передачи, вызываемые ЛСД, им требовалось внутриклеточно регистрировать потенциал на мембране дендритов зрительной коры, работая с каждым по отдельности. Для этого необходимо было использовать стеклянные микроэлектроды вроде тех, что применял Кац, работая с отдельными мышечными волокнами, или Экклс с отдельными мотонейронами. Но после ряда обсуждений Грундфест и Пурпура поняли, что внутриклеточная регистрация, скорее всего, не сработает, потому что нейроны в зрительной коре намного меньше, чем те, с которыми работали Кац и Экклс. Тонкие дендриты, размеры которых в двадцать раз меньше, чем у тела клетки, представлялись слишком маленькими, чтобы внутриклеточно регистрировать на них мембранный потенциал.

В связи с этими дискуссиями мне вновь встретился Стивен Куффлер. Однажды вечером Грундфест бросил мне на колени номер *Journal of General Physiology,* в котором были опубликованы три статьи Куффлера, посвященные его исследованиям отдельных нейронов и их дендритов у раков. Мне показалось весьма примечательным, что современный нейрофизиолог проводит опыты на раках: одна из первых научных работ Фрейда, опубликованная в 1882 году, когда ему было всего двадцать шесть, была посвящена именно нервным клеткам раков! Это было то самое исследование, в ходе которого Фрейд независимо от Кахаля вплотную подошел к открытию того, что тело нервной клетки и все его отростки представляют собой единое целое – сигнальную единицу мозга.

Я внимательно прочитал эти статьи Куффлера. Хотя я и не все в них понял, одна вещь сразу бросилась мне в глаза: Куффлер делал как раз то, что Пурпура и Грундфест мечтали, но не могли сделать на мозге млекопитающего. Он изучал дендриты отдельного, выделенного из мозга нейрона. На таком препарате, в отсутствие других нейронов, Куффлер мог

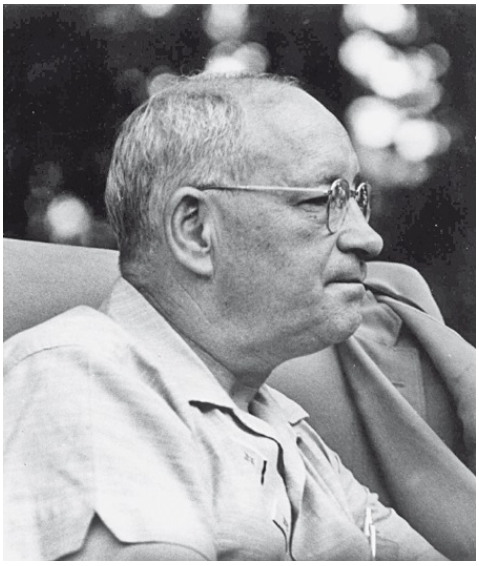
не только видеть отдельные ветви дендритов, но и регистрировать ход происходящих в них электрических изменений.

Эти статьи Куффлера красноречиво указывали на то, что выбор анатомически простого объекта есть ключ к успеху эксперимента и что беспозвоночные животные – настоящий кладезь таких объектов. Кроме того, статьи напомнили мне, что выбор системы для эксперимента – одно из важнейших решений, принимаемых биологом. Такой урок я уже усвоил ранее из работ Ходжкина и Хаксли на гигантском аксоне кальмара и исследований Каца гигантского синапса того же кальмара.

Эти открытия сильно подействовали на меня, и мне очень захотелось на собственном опыте проверить новые для меня исследовательские стратегии. У меня еще не было никаких конкретных идей, но я начинал мыслить как биолог. Я осознал, что всем животным в той или иной форме свойственна психическая деятельность, которая отражает устройство их нервной системы, и понял, что хочу исследовать работу нервной системы на клеточном уровне. Я был уверен, что когда#нибудь мне захочется проверить ту или иную идею на беспозвоночном животном.

Окончив в 1956 году медицинскую школу, я провел год в интернатуре при больнице Монтефиоре в Нью-Йорке. Весной 1957#го на время непродолжительного периода работы по выбору в программе моей интернатуры я вернулся в лабораторию Грундфеста и проработал там шесть недель под руководством Стэнли Крейна – настоящего мастера исследований с простыми системами. Я напросился к Крейну потому, что он занимался клеточной биологией и искал подходящие экспериментальные системы для решения серьезных проблем. Он был одним из первых нейробиологов, изучавших свойства отдельных нейронов, выделенных из мозга и содержавшихся в тканевой культуре отдельно от всех остальных нейронов. Проще почти некуда!

Зная о моем растущем интересе к беспозвоночным, особенно ракам, Грундфест предложил при содействии Крейна приготовить систему для регистрации потенциалов. Я мог воспользоваться ею, чтобы воспроизвести один из экспериментов Ходжкина и Хаксли, регистрируя мембранный потенциал на большом аксоне рака, который управляет его хвостом и тем самым помогает спасаться от хищников. Это не такой большой аксон, как гигантский аксон кальмара, но все же очень большой.



7–2. Уэйд Маршалл (1907–1972) – первый ученый, подробно картировавший сенсорные представительства осязания и зрения в коре головного мозга. С 1947 года он занимался

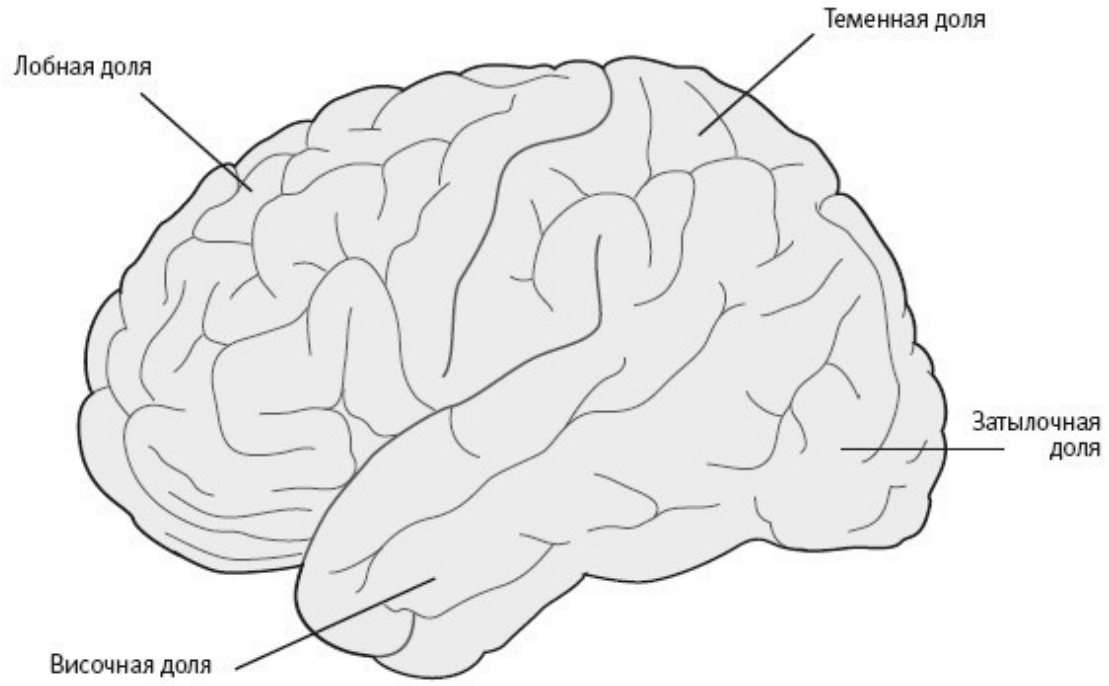
научной деятельностью в Национальных институтах здоровья, а в 1950 году возглавил лабораторию нейрофизиологии Национального института психического здоровья, где я работал под его руководством с 1957 по 1960 год. (*Фото любезно предоставила Луиза Маршалл.*)

Крейн показал мне, как изготавливать стеклянные микроэлектроды, чтобы вводить их в отдельные аксоны, как регистрировать с их помощью мембранный потенциал и как трактовать эти данные. Именно по ходу этих экспериментов (которые были почти лабораторными упражнениями, поскольку я не изучал ничего нового в научном или концептуальном плане) я впервые ощутил восторг самостоятельной работы. Я подсоединил выходной провод от усилителя, который служил мне для регистрации потенциала, к репродуктору, как это тридцатью годами ранее сделал Эдриан. Всякий раз, когда я вводил электрод в клетку, я тоже слышал треск. Я не люблю звуки выстрелов, но это "бах-бах-бах" потенциалов действия меня просто опьяняло. В самой мысли, что я успешно пронзил аксон и сам прислушивался к его работе в мозге рака, откуда он передавал сигналы, было для меня что#то чудесное и глубоко личное. Я становился настоящим психоаналитиком. Я прислушивался к скрытым, тайным мыслям моего рака!

Красивые результаты, которые я получил в своих первых экспериментах на простой нервной системе рака (показатели потенциала покоя и потенциала действия, подтверждение принципа "все или ничего" для потенциала действия и подтверждение того, что потенциал действия не просто обнуляет мембранный потенциал, но перескакивает за ноль), произвели на меня глубокое впечатление и подтвердили, как важно правильно выбирать животное для исследований. В моих результатах не было совершенно ничего нового, но меня они приводили в восторг.

По результатам двух непродолжительных периодов, в течение которых я работал в лаборатории Грундфеста, он предложил порекомендовать меня на исследовательскую работу в Национальном институте психического здоровья – психиатрическом подразделении Национальных институтов здоровья. Альтернативой была служба в армии. В первые годы после Корейской войны в армию активно набирали врачей, чтобы обеспечить медицинскую помощь военным и их семьям. Служба здравоохранения, которая тогда входила в состав береговой охраны, давала возможность альтернативной службы тем, кого признавали годными, а Национальные институты здоровья были одним из учреждений, относившихся к ведомству службы здравоохранения. Благодаря рекомендации Грундфеста меня взял на работу Уэйд Маршалл – заведующий лабораторией нейрофизиологии в Национальном институте психического здоровья, куда мне было предписано явиться в июле 1957 года.

В конце тридцатых Уэйд Маршалл был, возможно, самым многообещающим и выдающимся из молодых ученых, которые занимались исследованиями мозга в Соединенных Штатах (рис. 7–2). В серии экспериментов, которые теперь считаются классическими, он выяснил, как осязательные рецепторы, расположенные на поверхности тела (ладонях, лице, груди, спине), представлены в головном мозге кошек и обезьян. Маршалл и его коллеги открыли, что эти внутренние представительства осязательных рецепторов пространственно упорядочены: соседние участки поверхности тела соответствуют соседним участкам и в мозге.



7–3. Четыре доли коры головного мозга. В лобной доле проходят нейронные цепи, управляющие социальными суждениями, планированием и организацией деятельности, некоторыми аспектами языка, контролем над движениями и так называемой рабочей памятью (разновидностью кратковременной). Теменная доля получает сенсорную информацию о прикосновениях, давлении и окружающем тело пространстве и помогает включить эту информацию в цельные картины восприятия. Затылочная доля участвует в работе зрения. Височная доля связана с обработкой слуховой информации и некоторыми аспектами языка и памяти.

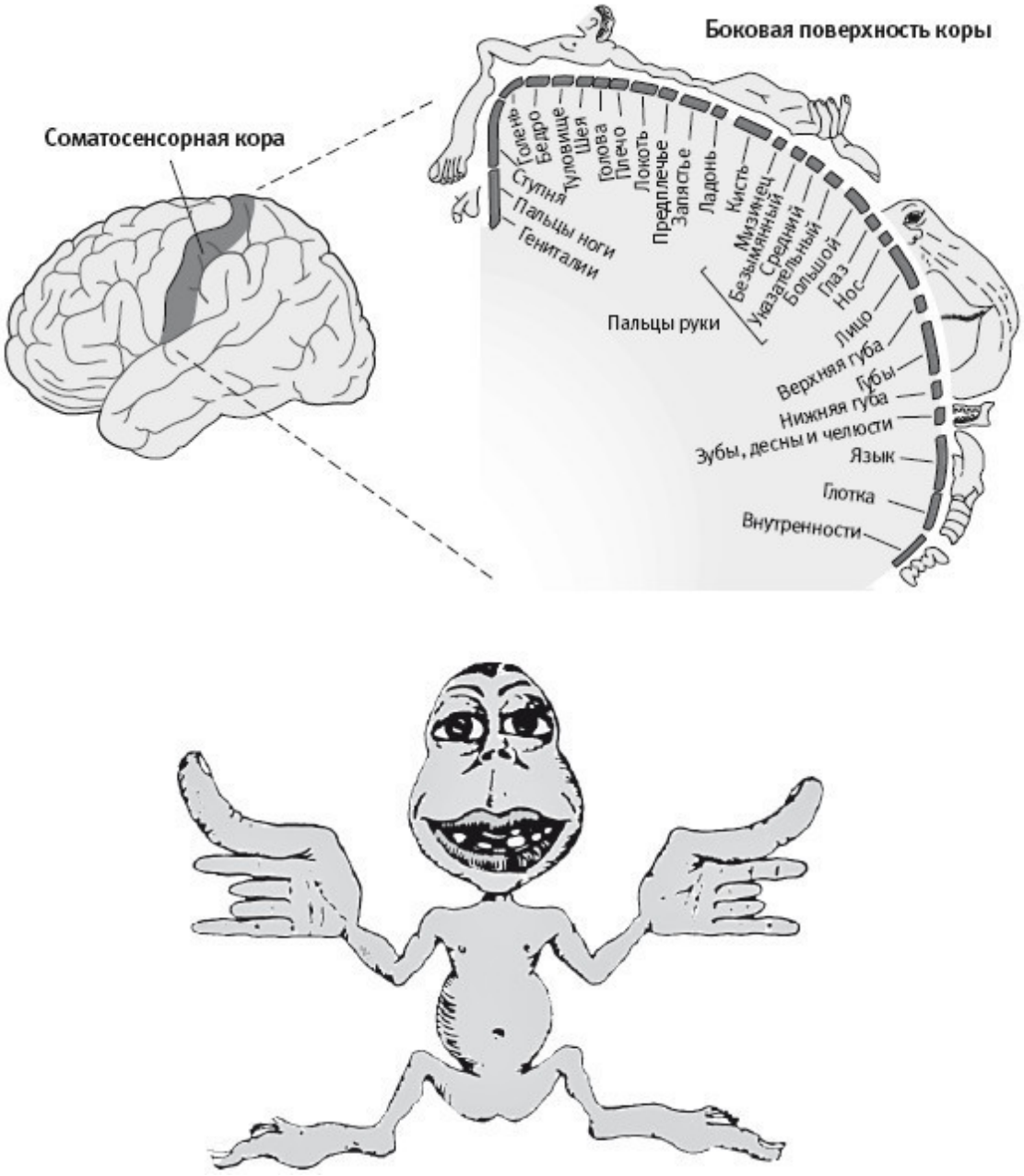
К тому времени, когда Маршалл начал свои исследования, об анатомии коры головного мозга было известно немало. Кора представляет собой извилистую структуру, покрывающую два симметричных полушария переднего мозга и разделенную на четыре части, или доли: лобную, теменную, височную и затылочную (рис. 7–3). Если развернуть кору больших полушарий человека на плоскости, по размеру она будет как большая обеденная салфетка из ткани, только толще. Кора содержит порядка 100 млрд нейронов, у каждого из которых около тысячи синапсов, то есть общее число синаптических связей нейронов коры составляет порядка 100 трлн.

Первые свои эксперименты с осязанием Маршалл провел еще в аспирантуре в Чикагском университете в 1936 году. Он обнаружил, что, если шевелить шерсть на лапе кошки или прикасаться к ее коже, это вызывает электрическую реакцию особой группы нейронов в соматосенсорной коре – участке теменной доли, который управляет осязанием. Такие результаты говорили лишь о том, что осязательные рецепторы имеют представительство в мозге, но Маршалл сразу понял, что может пойти намного дальше. Ему хотелось узнать, представлены ли соседние участки кожи в соседних участках соматосенсорной коры или беспорядочно разбросаны по ней.

Чтобы найти наставника, который помог бы ему ответить на этот вопрос, Маршалл устроился постдоком к Филипу Барду, председателю отделения физиологии в медицинской школе Джонса Хопкинса и одному из крупнейших американских биологов. Маршалл подключился к исследованиям, которые Бард проводил на обезьянах, и вместе они установили, что вся поверхность тела представлена в соматосенсорной коре в виде взаимно однозначной

нейронной карты. Соседние участки поверхности тела, например соседних пальцев, расположены рядом и в соматосенсорной коре. Через несколько лет необычайно одаренный канадский нейрохирург Уайлдер Пенфилд изучил эти соответствия и у людей и обнаружил, что самые чувствительные части поверхности тела представлены наиболее обширными участками соматосенсорной коры (рис. 7–4).

Затем Маршалл установил, что световые рецепторы сетчатки глаза, в свою очередь, упорядоченно представлены в первичной зрительной коре – участке затылочной доли. И наконец, Маршалл показал, что в височной доле имеется сенсорная карта звуковых частот, в которой по определенной системе представлены звуки разной высоты.



7–4. Сенсорная карта человеческого тела, как оно представлено в мозге. Соматосенсорная кора – полоска теменной доли коры головного мозга – получает осязательную сенсорную информацию. Каждая часть тела представлена в ней отдельно. Пальцы, губы и другие особо чувствительные области занимают много места. Уайлдер Пенфилд назвал эту карту, отображающую человеческое тело, сенсорным гомункулом. Составное изображение сенсорного

гомункула в виде фигурки (внизу) основано на этой карте. Мы видим на нем человечка с большими ладонями, пальцами и губами. (*Из книги: Colin Blackmore, Mechanics of the Mind, © Cambridge University Press, 1977.*)

Эти исследования произвели революцию в нашем понимании того, как сенсорная информация упорядочена и представлена в мозге. Маршалл доказал: несмотря на то что разные сенсорные системы передают разные типы информации в разные участки коры, эти системы устроены по сходной схеме – вся сенсорная информация упорядочена у нас в мозге топографически, в виде точных карт сенсорных рецепторов тела, будь то рецепторы сетчатки глаз, базилярной мембраны уха или кожи.

Устройство сенсорных карт проще всего понять, рассмотрев, как представлены в соматосенсорной коре рецепторы осязания. Осязание начинается с внутрикожных рецепторов, которые преобразуют энергию раздражителя (например, передаваемую при щипке) в электрические сигналы сенсорных нейронов. Затем эти сигналы по строго определенному проводящему пути поступают в мозг, проходя несколько этапов обработки или ретрансляции в мозговом стволе и таламусе и наконец достигая соматосенсорной коры. При этом сигналы, поступающие от соседних участков кожи, на каждом этапе передаются по идущим рядом нервным волокнам. Поэтому, например, раздражение двух соседних пальцев вызывает активацию соседних популяций нервных клеток в мозге.

Данные о сенсорных картах мозга и представления о принципе их топографической организации крайне важны для медицины. Благодаря невероятной подробности этих карт клиническая неврология давно стала точной диагностической дисциплиной, несмотря на то что до недавно изобретенных методов томографии мозга она полагалась лишь на простейшие, примитивнейшие орудия: ватную палочку для проверки чувствительности к прикосновению, английскую булавку – к боли, камертон – к вибрациям и молоточек для проверки работы рефлексов. Нарушения в сенсорной и моторной системах можно необычайно точно локализовать благодаря взаимно однозначным соответствиям точек поверхности тела и участков мозга.

Яркий пример этой связи демонстрируют джексоновские припадки – форма эпилептических припадков, которую описал британский невролог Джон Хьюлингс Джексон в 1878 году. При них онемение, жжение или покалывание начинаются где#то в одном месте и распространяются по всему телу. Например, сначала могут онеметь кончики пальцев, а в течение следующей минуты онемение распространится на всю кисть, вверх по руке, через плечо на спину и вниз до ноги на той же стороне тела. Эта последовательность ощущений объясняется устройством сенсорной карты тела: припадок, который представляет собой волну аномальной электрической активности в мозге, начинается в боковой области соматосенсорной коры, где представлена кисть руки, а затем распространяется по коре в сторону макушки, где представлена нога.

Однако чудесные научные достижения Маршалла достались высокой ценой. Эти эксперименты требовали немалых физических усилий и нередко занимали больше двадцати четырех часов кряду. Регулярное недосыпание истощило его. Кроме того, отношения с Бардом стали натянутыми. В 1942 году Маршалл слег с острым параноидальным приступом после того, как чуть не набросился на Барда с кулаками. Психическое расстройство потребовало госпитализации Маршалла на полтора года.

Когда в начале сороковых Маршалл вернулся в нейробиологию, он стал заниматься совсем другим набором проблем, связанных с распространением депрессии коры – вызываемым искусственно обратимым подавлением электрической активности в коре головного мозга. К тому времени, когда я пришел в Институты здоровья, высшая точка его блестящей научной карьеры была уже позади. Время от времени он по#прежнему с удовольствием про-

водил эксперименты, но уже утратил научный энтузиазм и глубокую проницательность и во многом сосредоточил усилия и интерес на административных делах, с которыми хорошо справлялся.

Хотя он был эксцентричным и непредсказуемо раздражительным, а иногда и подозрительным, Маршалл был хорошим заведующим для своей лаборатории и всячески поддерживал молодых людей, за которых отвечал. Я многому у него научился, прежде всего скромности и строгости, подобающим в научной лаборатории. У него были высокие стандарты научной этики и тонкое чувство самоиронии, которое проявлялось в замечательных афоризмах, припоминаемых по подходящему поводу. Один из излюбленных, неизменно служивший ему, когда его данные кто#то оспаривал, был таков: “Нас это озадачило, и их это озадачило, но нам привычнее быть озадаченными”. В других ситуациях он бормотал: “Поначалу все пойдет примерно так, а потом все станет хуже!”

Помимо смирения Маршалл научил меня тому, что сила характера и время могут позволить человеку в целом излечиться от тяжелого психического заболевания (действенных лекарственных средств тогда еще не было). Кроме того, я узнал, сколько всего может сделать человек, излечившийся от такой серьезной болезни. Многие молодые люди, сделавшие в итоге прекрасную научную карьеру, и я сам в их числе, обязаны ее началом и дальнейшими успехами личному и профессиональному примеру Уэйда Маршалла. Несмотря на мою явную неопытность, он не настаивал, чтобы я занимался только теми вопросами, которыми интересовался он сам. Напротив, он давал мне возможность думать о том, что мне хотелось делать, а хотелось мне исследовать, как клетки мозга обеспечивают обучение и память. Наука предоставляет человеку конкретные возможности для испытания идей, и если человек не боится потерпеть фиаско, он может испытывать свежие, важные и смелые идеи. Маршалл предоставил мне свободу стараться мыслить творчески.

Грундфест, Пурпура, Крейн, Маршалл, а впоследствии также Стив Куффлер оказали на меня огромное влияние. Они преобразили мою жизнь. Они и мистер Кампанья, который открыл мне дорогу в Гарвард, могут служить примером того, как важны отношения учителя и ученика для нашего интеллектуального развития. Их пример также подчеркивает роль случайных влияний и душевной щедрости, вдохновляющих молодых людей на успехи. Молодые люди, в свою очередь, должны стремиться быть восприимчивыми и стараться попасть туда, где их будут окружать люди, блистающие интеллектом.

8. Разные воспоминания – разные участки мозга

К тому времени, когда я оказался в лаборатории Уэйда Маршалла, я уже перешел от наивного стремления найти в мозге “я”, “оно” и “сверх-я” к несколько более внятной идее, что поиск биологических основ памяти может оказаться эффективным подходом к изучению высшей нервной деятельности. Мне было ясно, что обучение и память имеют принципиальное значение для психоанализа и психотерапии. В конце концов, многие стороны психологических проблем связаны с обучением, а психоанализ основан на принципе, что чему можно обучиться, тому можно и разучиться. Однако обучение и память имеют принципиальное значение и для нашей личности в целом. Они делают нас теми, кто мы есть.

Но биология обучения и памяти того времени зашла в тупик. Крупнейшим авторитетом в этой области был Карл Лешли – профессор психологии в Гарварде, убедивший многих ученых, что в коре головного мозга нет областей, специфически ответственных за память.

Вскоре после того, как меня взяли в Национальный институт психического здоровья, два исследователя в корне изменили эту ситуацию. Бренда Милнер, психолог из Монреальского неврологического института при Университете Макгилла, и Уильям Сковилл, нейрохирург из Хартфорда в штате Коннектикут, сообщили, что им удалось найти участки мозга, специфически связанные с памятью. Эта новость имела огромное значение для меня и многих других, потому что она означала, что теперь, возможно, будет окончательно разрешен давний спор об устройстве человеческой психики.

До середины xx века поиски вместилища памяти в мозге были связаны с двумя противоположными представлениями о работе головного мозга, в особенности его коры. Согласно первому, кора головного мозга составлена из отдельных участков, выполняющих специфические функции: один отвечает за речь, второй – за зрение и т.д. Другое представление состояло в том, что психические функции порождаются совместной деятельностью всей коры.

Первым активным сторонником идеи, что различные свойства психики помещаются в специфических участках коры, был Франц Йозеф Галль, немецкий врач и нейроанатом, преподававший в Венском университете с 1781 по 1802 год. Галль выдвинул две концепции, оказавшие сильное влияние на развитие науки о психике. Во-первых, он утверждал, что все психические явления имеют биологическую природу, значит, порождаются мозгом. Во-вторых, он предположил, что кора головного мозга разделена на много участков, управляющих определенными психическими функциями.

Идея Галля о том, что все психические явления имеют биологическую природу, противоречила дуализму – царившей в то время теории. Эта теория, сформулированная в 1632 году Рене Декартом, математиком и отцом современной философии, предполагает, что люди обладают двойственной природой: материальным телом и нематериальной и неразрушимой душой, живущей вне тела. Эта двойственная природа связана с двумя типами субстанций. *Res externa* – материальная субстанция, наполняющая тело, в том числе головной мозг, – бежит по нервам и придает животную силу мышцам. *Res cogitans* – нематериальная субстанция мысли, свойственная только людям. Она порождает рациональное мышление и сознание, а ее нематериальность отражает духовную природу души. Рефлекторные действия и многие другие физические формы поведения осуществляются мозгом, а психические процессы осуществляет душа. Декарт считал, что эти два начала взаимодействуют друг с другом посредством эпифиза – небольшой структуры, расположенной в глубине мозга.

Римско-католическая церковь, чувствуя, что новые открытия анатомии угрожают ее авторитету, приняла дуализм, потому что он разделял сферы науки и религии. Радикальная

позиция Галля, ратовавшего за материалистический взгляд на психику, привлекала научное сообщество тем, что предполагала отказ от концепции небиологической души, но влиятельные консервативные силы общества видели в ней угрозу. Император Франц I даже запретил Галлю выступать с публичными лекциями и изгнал из Австрии.

Галль также рассуждал, за какие функции отвечают различные области коры. Академическая психология того времени признавала двадцать семь психических свойств. Галль приписал эти свойства двадцати семи различным участкам коры, которые он называл "психическими органами". (Впоследствии как самим Галлем, так и его последователями к ним были добавлены новые.) Психические свойства, такие как фактическая память, осторожность, скрытность, надежда, вера в Бога, возвышенность, родительская и романтическая любовь, были одновременно абстрактны и сложны, но Галль настаивал на том, что каждым из них управляет единственный, конкретный участок мозга. Эта теория локализации функций вызвала в науке споры, продолжавшиеся вплоть до следующего века.

Теория Галля была верна по сути, но ущербна в деталях. Во-первых, большинство "психических свойств", считавшихся во времена Галля отдельными функциями психики, слишком сложны, чтобы их мог порождать единственный участок коры головного мозга. Во-вторых, метод, которым пользовался Галль, приписывая функции определенным участкам мозга, был основан на ошибочных представлениях.

Галль с недоверием относился к исследованиям поведения людей с повреждениями тех или иных участков мозга, поэтому клиническими данными он пренебрегал. Вместо этого он разработал метод, построенный на исследованиях черепа. Он полагал, что использование каждой области коры головного мозга вызывает ее рост, который приводит к тому, что покрывающий эту область участок черепа начинает выступать (рис. 8–1).

8–1. Френология. Франц Йозеф Галль (1758–1828) приписывал различные психические функции определенным участкам мозга, основываясь на своих наблюдениях. Впоследствии Галль разработал принципы френологии – системы, которая связывала свойства личности с шишками на черепе. (*Портрет Галля любезно предоставил Энтони Уолш.*)

Галль разрабатывал теорию поэтапно, начиная с юных лет. Когда он учился в школе, у него создалось впечатление, что самые умные из его одноклассников отличались выступающим лбом и глазами. Встретившаяся ему очень романтичная и очаровательная вдова, напротив, имела выступающий затылок. Так Галль пришел к убеждению, что сильные умственные способности увеличивают лобную часть мозга, а романтические чувства приводят к увеличению затылочной части. Галль считал, что, исследуя шишки и впадины на черепах людей, богато наделенных теми или иными свойствами, он может определять, где эти свойства сконцентрированы.

Он продолжил приведение своих представлений в систему, когда его, в те годы молодого врача, назначили заведовать венским сумасшедшим домом. Там он исследовал черепа преступников и обнаружил шишку над ухом, которая явственно напоминала таковую на черепах хищных животных. Галль связал эту шишку с частью мозга, которую он считал ответственной за садистское и разрушительное поведение. Такой способ определения местоположения психических свойств привел к возникновению френологии – дисциплины, связывающей свойства личности и характера с формой черепа.

К концу двадцатых годов xix века идеи Галля и френология как дисциплина приобрели необычайную популярность даже в широких кругах общества. Пьер Флуранс, французский невролог-экспериментатор, решил подвергнуть их проверке. Используя в экспери-

ментах разных животных, Флуранс один за другим удалял участки коры головного мозга, которые Галль связывал с определенными психическими функциями, но ему не удалось найти ни одно из нарушений поведения, предсказываемых Галлем. Более того, Флуранс не нашел никакой связи между нарушениями поведения и определенными участками коры. Имел значение только размер удаленной области, а не ее положение или сложность затрагиваемого поведения.

Поэтому Флуранс пришел к выводу, что все участки коры головного мозга одинаково важны. Он доказывал, что кора эквипотенциальна, то есть каждый ее участок может выполнять любые из функций мозга. Поэтому повреждение определенного участка коры не должно сказываться на одном свойстве сильнее, чем на другом. “Все ощущения и решения занимают одно и то же место в этих органах [т.е. структурах мозга]; такие свойства, как восприятие, понимание и воля, составляют, по сути, единое свойство”, – писал Флуранс.

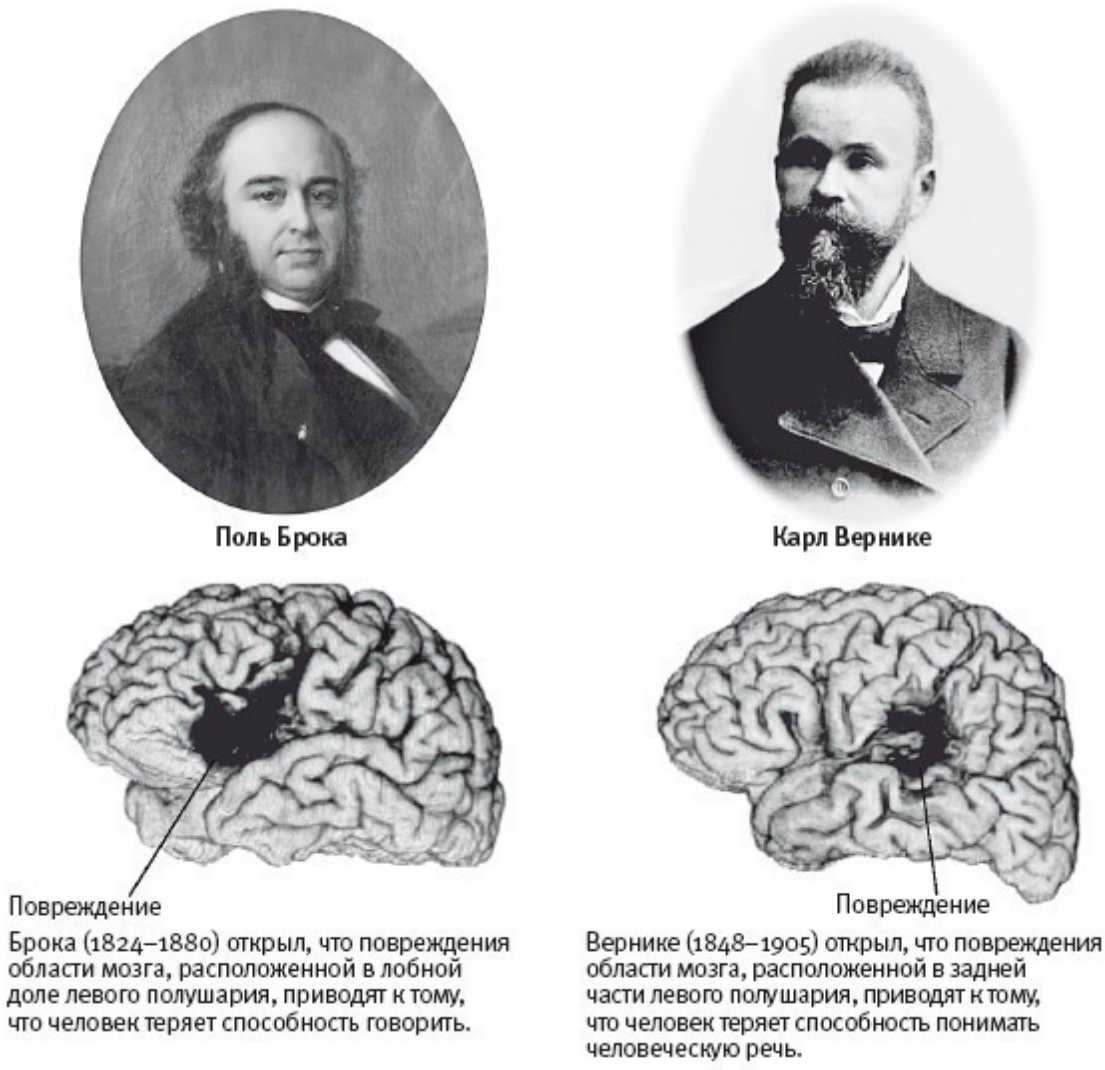
Идеи Флуранса вскоре завладели умами ученого сообщества. Несомненно, их принимали так охотно отчасти благодаря убедительности экспериментальных данных, но отчасти и потому, что они соответствовали чаяниям религиозных и политических противников материалистических представлений Галля о мозге. Если эти материалистические представления верны, значит, нет нужды предполагать существование души как необходимого посредника когнитивных функций человека.

Спор между последователями Галля и Флуранса в течение нескольких последующих десятилетий задавал тон в изучении мозга. Этот спор был разрешен лишь во второй половине xix века, когда данным вопросом заинтересовались два невролога: Пьер-Поль Брока в Париже и Карл Вернике в городе Бреслау в Германии[13]. Исследуя пациентов с определенными нарушениями речи, или афазиями, Брока и Вернике сделали ряд важных открытий. Взятые вместе, эти открытия составляют одну из самых захватывающих глав истории изучения человеческого поведения, потому что впервые позволили прикоснуться к биологическим основам такой сложной когнитивной способности, как речь.

Вместо того чтобы проверять идеи Галля, изучая здоровый мозг, как делал Флуранс, Брока и Вернике исследовали болезненные состояния, которые врачи того времени называли экспериментами природы. Брока и Вернике удалось связать определенные нарушения речи с повреждениями специфических областей коры головного мозга, тем самым убедительно доказав, что по крайней мере некоторые формы высшей психической деятельности возникают именно там.

Кора головного мозга имеет две важные особенности. Во-первых, хотя оба ее полушария выглядят зеркальными отражениями друг друга, они отличаются и строением, и функциями. Во-вторых, каждое полушарие задействовано прежде всего в обеспечении чувствительности и подвижности противоположной стороны тела. Таким образом, сенсорная информация, поступающая в спинной мозг с левой стороны тела, например от левой руки, по пути в кору головного мозга переходит на правую сторону нервной системы. Аналогичным образом моторные области правого полушария управляют движениями левой стороны тела.

[13] Ныне – Вроцлав, Польша.



8–2. Два первопроходца в области изучения функций мозга, связанных с речью. (*Портреты перепечатаны из книги: Kandel, Schwartz, Jessell, Essentials of Neural Science and Behavior, McGraw-Hill, 1995. Фотографии мозга любезно предоставила Ханна Дамазью.*)

Брока (рис. 8–2), который был не только неврологом, но также хирургом и антропологом, основал дисциплину, теперь называемую нейропсихологией, то есть науку об изменениях психических функций, вызываемых повреждениями мозга. В 1861 году он описал случай парижского сапожника по фамилии Леборнь, которому был пятьдесят один год и у которого за двадцать один год до этого случился инсульт. В результате этого Леборнь потерял способность нормально говорить, хотя мимикой и жестами он показывал, что прекрасно понимает речь других людей. У Леборня не было ни одного из обычных двигательных нарушений, вызывающих проблемы с речью. Движения его языка, губ и голосовых связок не были затруднены. Более того, он без труда мог произносить отдельные слова, свистеть и напевать мелодии, но не мог говорить грамматически правильно и составлять полные предложения. При этом его недуг не ограничивался устной речью: на письме Леборнь тоже не мог выражать свои мысли.

Леборнь умер через неделю после того, как его обследовал Брока. В ходе вскрытия его трупа Брока обнаружил поврежденную область в участке лобной доли, который теперь называют зоной Брока (рис. 8–2). Впоследствии он исследовал мозг еще восьми неспособных говорить пациентов после их смерти. У каждого из них обнаружилось похожее повреждение

лобной доли левого полушария. Открытие Брока было первым эмпирическим свидетельством того, что строго определенная психическая функция может быть связана со специфическим участком коры. Исходя из того, что повреждения мозга этих пациентов находились в левом полушарии, Брока установил, что два полушария, хотя и кажутся симметричными, играют разные роли. В связи с этим открытием в 1864 году он провозгласил один из самых знаменитых принципов работы мозга: *Nous parlons avec l'h misphre gauche!* ("Мы говорим левым полушарием!").

Открытие Брока послужило стимулом для поиска местоположения центров других поведенческих функций в коре головного мозга. Через девять лет два немецких физиолога, Густав Теодор Фрич и Эдуард Хитциг, взбудоражили научное сообщество, продемонстрировав, что собаки предсказуемым образом двигают конечностями, если стимулировать электричеством определенную область их коры. Более того, Фрич и Хитциг определили положение маленьких участков коры, которые управляют отдельными группами мышц, вызывающими такие движения.

В 1879 году Карл Вернике (рис. 8–2) открыл другую форму афазии. При этом нарушении затрудняется не способность самого пациента говорить, а его восприятие устной и письменной речи. Кроме того, хотя люди, страдающие афазией Вернике, и способны говорить, любому другому человеку их речь представляется совершенно бессвязной. Эта афазия, как и афазия Брока, вызывается повреждением левого полушария, но в данном случае задней его части – в области, которую теперь называют зоной Вернике (рис. 8–2).

Основываясь на собственных открытиях и открытиях Брока, Вернике выдвинул теорию, описывающую систему управления речью в коре головного мозга. Хотя эта теория и проще, чем современные представления о механизмах, лежащих в основе речи, она тем не менее не противоречит нашим нынешним взглядам на устройство мозга. Первый сформулированный Вернике принцип состоит в том, что любые сложные формы поведения обеспечиваются работой не одного, а нескольких специализированных и взаимосвязанных участков мозга. В случае речевого поведения это зоны Вернике (восприятие речи) и Брока (построение речи). Эти зоны, как было известно Вернике, связаны особым нервным пучком (рис. 8–3). Вернике также понимал, что обширные, взаимосвязанные сети специализированных участков, таких как зоны управления речью, дают людям ощущение цельности своей психической деятельности.

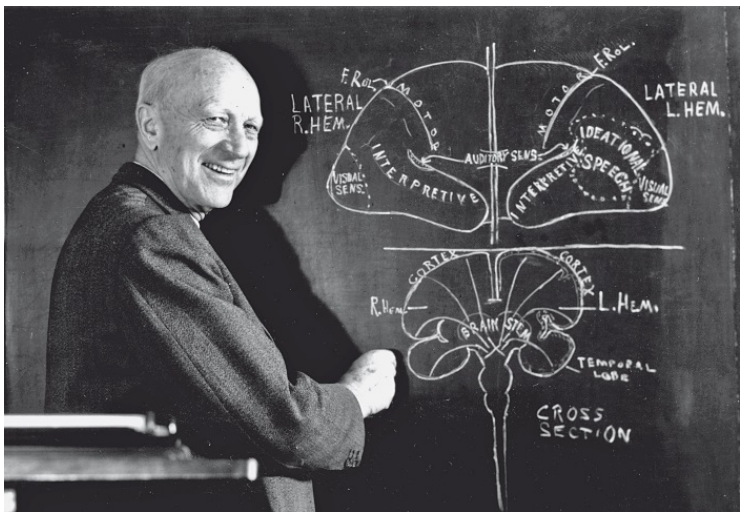
8–3. В сложных формах поведения, таких как речь, задействовано несколько взаимосвязанных участков мозга.

Представление о том, что разные участки мозга специализируются на выполнении разных функций, играет ключевую роль в современной нейробиологии, а предложенная Вернике модель сети взаимосвязанных специализированных участков лежит в основе исследований работы мозга. Одна из причин того, что ученые так долго не могли прийти к этой идее, кроется еще в одном принципе организации нервной системы: нейронным сетям нашего мозга свойственна встроенная избыточность. Многие сенсорные, моторные и когнитивные функции обслуживаются отнюдь не единственным проводящим путем: одна и та же информация обрабатывается одновременно и параллельно в различных участках мозга. Когда один из таких участков или путей повреждается, другие могут оказаться способными компенсировать эту утрату хотя бы частично. Когда происходит такая компенсация и повреждение не приводит к очевидным поведенческим нарушениям, исследователям бывает трудно установить связь между поврежденным участком мозга и поведением.

После того как стало известно, что построение и понимание речи происходит в определенных участках мозга, были обнаружены и участки, управляющие каждой из форм чувствительности, что заложило фундамент будущего открытия Уэйдом Маршаллом сенсорных карт осязания, зрения и слуха. Обращение таких исследований к проблемам памяти стало исключительно вопросом времени. При этом оставался открытым принципиальный вопрос о том, обеспечивается ли память отдельным нервным механизмом или же она неразрывно связана с сенсорными и моторными механизмами.

Первые попытки установить местоположение участка мозга, ответственного за память, и даже наметить границы памяти как отдельного нервного механизма не увенчались успе-

хом. В двадцатые годы xx века Карл Лешли провел известную серию экспериментов, в которых обученные крысы проходили простые лабиринты. Затем он удалял этим крысам различные участки коры головного мозга и через двадцать дней повторно проверял их способности, чтобы узнать, в какой степени сохранялись приобретенные ими навыки. На основании результатов этих экспериментов Лешли сформулировал “теорию действующих масс”, согласно которой степень нарушения памяти определяется размером удаленного участка коры, а не его местоположением. Лешли писал об этом, вторя работавшему столетием раньше Флурансу: “Несомненно, навык прохождения лабиринта, когда он уже выработался, не локализуется в какой#либо одной области головного мозга, и качество работы этого навыка каким#то образом определяется количеством ткани, которая осталась нетронутой”.



8–4. Во время хирургических операций, связанных с эпилепсией, Уайлдер Пенфилд (1891–1976) обнажал поверхность мозга пациентов, находившихся в сознании. Затем он стимулировал различные участки коры и по реакции пациентов установил, что на роль места хранения памяти может претендовать височная доля. (*Фотография любезно предоставлена архивом Пенфилда и Монреальским неврологическим институтом.*)

Много лет спустя полученные Лешли результаты по#новому истолковали Уайлдер Пенфилд и Бренда Милнер из Монреальского неврологического института. Все больше ученых проводили эксперименты на крысах, и стало ясно, что лабиринты не годятся для изучения местоположения механизма памяти. Обучение навыку прохождения лабиринта – сложная форма, в которой задействовано много разных сенсорных и моторных функций. Если лишить животное сенсорных ориентиров одного типа (например, осязательных), оно по#прежнему может неплохо узнавать то или иное место, пользуясь другими чувствами (например, зрением или обонянием). Кроме того, Лешли сосредоточил свои усилия на наружном слое головного мозга – его коре и не изучал структуры, лежащие глубже. Следующие исследования показали, что многие формы памяти требуют участия одной или нескольких этих более глубоких областей.

Предположение, что некоторые компоненты человеческой памяти могут храниться в специфических участках мозга, впервые возникло в ходе нейрохирургических опытов Пенфилда (рис. 8–4) в 1948 году. Будучи стипендиатом Родса[14], Пенфилд учился физиологии под руководством Чарльза Шеррингтона. Он начал использовать хирургические методы для

[14] Стипендия Родса (*Rhodes scholarship*) позволяет студентам из ряда стран учиться в магистратуре и аспирантуре Оксфордского университета.

лечения фокальной эпилепсии, при которой припадки развиваются в ограниченных участках коры. Он разработал применяемую по сей день методику, позволяющую удалять участок ткани, в котором возникает припадок, не причиняя вреда психическим функциям пациента или сводя этот вред к минимуму.

Поскольку в мозге нет болевых рецепторов, операции на мозге можно проводить при местной анестезии. Поэтому во время операции пациенты Пенфилда оставались в полном сознании и могли сообщать о своих ощущениях. (Когда Пенфилд описывал это Шеррингтону, который всю жизнь работал на кошках и обезьянах, он не мог удержаться от замечания: “Представьте, каково это, когда экспериментальная система может отвечать на ваши вопросы!”) В процессе операции Пенфилд стимулировал слабыми электрическими разрядами различные участки коры головного мозга своих пациентов и определял, как такая стимуляция влияет на способность разговаривать и понимать человеческую речь. Ответы пациентов позволяли ему узнавать точное положение зон Брока и Вернике и избегать их повреждения при удалении пораженной эпилепсией ткани.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.